

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1958

THÈSE

N°

362

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Armand, Hermann PIWNICA

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

Médaille d'Argent des Hôpitaux

Aide d'Anatomie à la Faculté de Médecine

Né le 16 juillet 1927, à PARIS

Présentée et soutenue publiquement le

LA CINQUIÈME VERTÈBRE LOMBAIRE

**études anatomiques
radiologiques et chirurgicales**

**INTRODUCTION
A LA
MÉTHODE PHOTOÉLASTICIMÉTRIQUE**

Président : M. MERLE D'AUBIGNE Professeur

LIBRAIRIE ARNETTE
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2
PARIS - VI^e

1960

Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1958

THÈSE

N° _____

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Armand, Hermann PIWNICA

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

Médaille d'Argent des Hôpitaux

Aide d'Anatomie à la Faculté de Médecine

Né le 16 juillet 1927, à PARIS

Présentée et soutenue publiquement le

LA CINQUIÈME VERTÈBRE LOMBAIRE

**études anatomiques
radiologiques et chirurgicales**

**INTRODUCTION
A LA
MÉTHODE PHOTOÉLASTICIMÉTRIQUE**

Président : M. MERLE D'AUBIGNE Professeur

LIBRAIRIE ARNETTE
2, RUE CASIMIR-DELAUVIGNE, 2
PARIS - VI^e

1960



PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. AUBIN (A.), BENARD (H.), BROCO (P.), BULLIARD (H.), CADENAT (F.), CHABROL (E.), CHAMPY (C.), CHEVALLIER (P.), DEBRE (R.), DONZELOT (E.), GASTINEL (P.), GUILLAIN (G.), HALPHEN (E.), HARVIER (P.), HAZARD (R.), HEUYER (G.), LANTUEJOL (P.), LAROCHE (G.), LAUBRY (C.), LEVY-SOLAL (E.), LHERMITTE (J.), LIAN (C.), LOEPER (M.), MARION (G.), MATHIEU (P.), MOCQUOT (P.), MONDOR (H.), MONOD (R.), MOREAU (R.), MULON (P.), OLIVIER (E.), RICHET (C.), STROHL (A.), TANON (L.), VELTER (E.).

Léon BINET
Membre de l'Institut.

Doyen

Assesseur

Jean VERNE.

I. — PROFESSEURS

Anatomie
Anatomie (Chaire à titre personnel)
Anatomie pathologique
Anesthésiologie
Bactériologie
Biochimie médicale
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports
Biologie médicale
Cancérologie médicale et sociale
Clinique carcinologique (Inst. G. Roussy)
Clinique cardiologique (Broussais)

Cliniques chirurgicales
 { Beaujon
 { Cochin
 { Hôtel-Dieu
 { Saint-Antoine
 { Salpêtrière
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)

Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laënnec)
Clinique endocrinologique (Pitié)
Clinique génétique médicale (Enfants-Malades)
Clinique gynécologique (Broca)

Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (St-Louis)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Ste-Anne)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)
Clinique des maladies du sang (Broussais)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)
 { Broussais
 { Cochin

Cliniques médicales
 { Hôtel-Dieu
 { Lariboisière
 { Pitié
 { St-Antoine
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)
Clinique médicale propédeutique
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)

Cliniques obstétricales
 { Baudelocque
 { Port-Royal
 { Tarnier

Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)
Clinique de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)
Clinique de pneumo-phthisiologie (Laënnec)
Clinique psychiatrique infantile (Salpêtrière)
Clinique de puériculture (St-Vincent-de-Paul)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)
Clinique stomatologique (Pitié)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)
Clinique thérapeutique médicale (St-Antoine)
Clinique urologique (Cochin)
Electrophysiologie médicale (chaire à titre personnel)
Embryologie
Histoire de la médecine et de la chirurgie
Histologie

MM.

CORDIER (G.)
DELMAS (A.)
DELARUE (J.)
BAUMANN (J.)
FASQUELLE (R.)
JAYLE (M.-F.)
CHAILLEY-BERT (P.)
FAUVERT (R.)
BERNARD (J.)
REDON (H.)
MOUQUIN (M.)
SICARD (A.)
QUENU (J.)
MENEGAUX (G.)
GOSSET (J.)
MOULONGUET (P.)
FEVRE (M.)
MERLE D'AUBIGNE
DE GAUDART-
D'ALLAINES (F.)
MATHEY (J.)
DECOURT (J.)
LAMY (M.)
FUNCK-BRENTANO
(P.)
DEGOS (R.)
CATHALA (J.)
MOLLARET (P.)
DELAY (J.)
HAMBURGER (J.)
MARCHEL (G.)
ALAJOUANINE (T.)
GENNES (L. de)
JUSTIN-BESANÇON
(L.)
BARIETY (M.)
SOULIE (P.)
DREYFUS (G.)
KOURILSKY (R.)
DEBRAY (C.)
PASTEUR VALLERY-
RADOT (L.)
DEROT (M.)
PETIT-DUTAILLIS
(D.)
LACOMME (M.)
N...
VARANGOT (J.)
RENARD (G.)
AUBRY (M.)
MARIE (J.)
BERNARD (E.)
MICHAUX (L.)
LELONG (M.)
COSTE (F.)
DECHAUME (M.)
SENEQUE (J.)
LEMAIRE (A.)
FEY (B.)
DJOURNO (A.)
GIROUD (A.)
N...
VERNE (J.)

Hygiène des collectivités (chaire à titre personnel)
 Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)
 Hygiène et médecine préventive
 Médecine du Travail
 Médecine légale
 Parasitologie
 Pathologie chirurgicale
 Pathologie exotique
 Pathologie expérimentale et comparée
 Pathologie humorale et immunologie expérimentale (chaire à titre personnel)
 Pathologie médicale
 Pathologie et thérapeutique générales
 Pharmacologie et matière médicale
 Physiologie
 Physiologie (chaire à titre personnel)
 Physique médicale
 Radiologie médicale
 Technique chirurgicale
 Thérapeutique

MM.

DEPARIS (M.)
 TURPIN (R.)
 JOANNON (P.)
 DESOILLE (H.)
 PIEDELIEVRE (R.)
 GALLIARD (H.)
 COUVELAIRE (R.)
 LAVIER (G.)
 LENEGRE (J.)
 MERKLEN (F.-P.)
 N...
 GARCIN (R.)
 CHEYMOL (J.)
 BINET (L.)
 BARGETON (D.)
 DOGNON (A.)
 DESGREZ (H.)
 PATEL (J.)
 BROUET (G.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGREGES ET MAITRES DE CONFERENCES-AGREGES

MM.

Anatomie { CABROL (C.)
 COUINAUD (C.)
 OLIVIER (G.)
 GAUTHIER-VILLARS
 (Mlle P.), pr. s. ch.
 Anatomie pathologique { BUSSET (F.)
 GOUYGOU (Ch.)
 ORCEL (L.)
 PAILLAS (J.)
 Anesthésiologie { VOURC'H (G.)
 NEVOT (A.), pr. s. ch.
 Bactériologie { BARBIER (P.)
 CHRISTOL (D.)
 TOURNIER (P.)
 DESGREZ (P.), pr. s.
 ch.
 Biochimie médicale { POLONOSKI (J.),
 m. conf.
 SCHAPIRA (G.),
 m. conf.
 Biologie médicale { BOURLIERE (F.), m. conf.
 HERTMANN (L.)
 Carcinologie { DENOIX (P.)
 MATHE (G.)
 Dermato-Syphiligraphie. { DUPERRAT (B.)
 Electro-radiologie { LEDOUX-LEBARD (G.)
 Embryologie { TUCHMANN-
 DUPLESSIS (H.)
 Hématologie { BILSKI-PASQUIER (G.)
 DAUSSET (J.)
 COUJARD (R.), pr. s.
 ch.
 Histologie { MAROIS (M.)
 RACADOT (J.)
 Hydrologie { CORNET (A.)
 BOYER (J.), pr. s. ch.
 Hygiène { CORRE-HURST (Mme
 L.)
 Maladies infectieuses . { BASTIN (R.)
 DUPONT (V.)
 DEROBERT (L.), pr. s.
 ch.
 Médecine légale { HADENGUE (A.)
 FOURNIER (E.)
 GUENIOT (M.)
 Médecine du travail .. { ALBAHARY (C.)
 Neuro-chirurgie { DAVID (M.)
 Neurologie { LHERMITTE (F.)

MM.

Obstétrique { GRANJON (A.)
 HERVET (E.)
 LE LORIER (G.)
 MORIN (P.)
 MUSSET (R.)
 ROBEY (M.)
 THOYER-ROZAT (J.)
 Ophtalmologie { BREGEAT (P.)
 SARAUX (H.)
 Orthopédie { JUDET (R.)
 RAMADIER (J.)
 Oto-Rhino-Laryngologie { DEBAIN (J.)
 Parasitologie { BRUMPT (L.-C.), pr. s.
 ch.
 CHABAUD (A.)
 BARCAT (J.)
 BINET (J.-P.)
 CAUCHOIX (J.)
 CHATELIN (C.-L.)
 DUBOST (Ch.)
 DUBOST (Cl.)
 FAUREL (J.)
 FLABEAU (F.)
 Pathologie chirurgicale. { GERMAIN (A.)
 LAURENCE (G.), agr.
 per.
 LORTAT-JACOB (J.-L.)
 LOYGUE (J.)
 MERCADIER
 PERROTIN (J.)
 ROBERT (H.)
 THOMERET (G.)
 Pathologie exotique .. { SCHNEIDER (J.)
 CROSNIER (J.)
 HARTMANN (L.)
 LEPER (J.)
 Pathologie expérimentale. { MAURICE (J.)
 PLAS (F.)
 RICHEL (G.)
 AUSSANNAIRE (M.)
 BOUR (H.)
 BOUVIER (J.)
 BOUVRAIN (Y.)
 BRICAIRE (H.)
 BRISAUD (H.)
 BROCARD (H.)
 Pathologie médicale .. { BUGE (A.)
 CASTAIGNE (P.),
 m. conf.
 CATINAT (J.)
 CONTAMIN (F.)
 COURY (C.)

	MM.		MM.
Pathologie médicale ..	FREZAL (J.)	Physiologie	{ PARROT (J.), pr. s. ch.
	HOUSSET (E.)		{ DEJOURS (P.)
	LAROCHE (Cl.)	Physique médicale	GOUGEROT (L.), m. conf.
	LESOBRE (R.)	Pneumo-Phthisiologie ..	KREIS (B.)
	MACREZ (C.)	Psychiatrie	PICHOT (P.)
	NICK (J.)	Psychiatrie infantile ..	DUCHÉ (D.)
Pédiatrie- Puériculture	PEQUIGNOT (H.), m. conf.	Rhumatologie	DELBARRE (F.)
	ROYER (P.)		{ CERNEA (P.)
	WOLFROMM (R.)		{ CHAPUT (Mme A.), m. conf. agr.
	JOSEPH (R.)		{ GRELLET (M.)
Pharmacologie	MANDE (R.)	Stomatologie	
	MOZZICONACCI (P.)		{ CHASSAGNE (P.)
	POLONOVSKI (C.)		{ LAMOTTE (M.)
	ROSSIER (A.)	Thérapeutique	
	LEVY (Mlle J.), pr. s. ch.		{ QUENU (L.)
	BOISSIER (J.)	Urologie	
	LECHAT (P.)		

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE A TITRE PERMANENT :

	MM.		MM.
Clinique chirurgicale ..	ABOULKER (P.)	Clinique neuro- rhumatologique	SEZE (S. de)
	AMELINE (A.)		{ GRASSET (J.)
	HUGUIER (J.)		{ LEPAGE (F.)
	LEGER (L.)	Clinique obstétricale ..	{ MAYER (M.)
	OLIVIER (C.)		{ MERGER (R.)
	PADOVANI (P.)		{ RAVINA (J.)
	POILLEUX (F.)	Clinique ophtalmologi- que	DESVIGNES (P.)
	ROUX (M.)		OFFRET (G.)
Clinique médicale	VERNE (J.-M.)	Clinique oto-rhino- laryngologique	MADURO (R.)
	HAGUENEAU (J.), pr. s. ch.	Clinique pédiatrique et puériculture	LAPLANE (R.)
	BOUDIN (G.)	Clinique psychiatrique.	BARUK (H.)
	CONTE (M.)	Clinique urologique ...	KUSS (R.)
	DOMART (A.)		
	MILLIEZ (P.)		
	PERRAULT (M.)		
	RAMBERT (P.)		
	THIEFFRY (S.)		
	TURIAF (J.)		

IV. — PROFESSEURS DETACHES DANS LES UNIVERSITES ETRANGERES

Bactériologie ..	MM. HAUDUROY (P.), Pr. s. ch.
Biochimie médicale	ETTORI (J.), Pr. à t. pers.
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.), Pr. s. ch.
Secrétaire général de la Faculté	M. LENA (J.)
Secrétaires	Mme BEURLAND (H.), Mlles CHAINTREUIL (G.), HURE (A.)
Conservateur, chargé de la direction de la Bibliothèque	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateurs ..	{ Mlles DUMAITRE (P.)
	{ GOICHON (A.-M.)
Bibliothécaires ..	{ Mme CONTET (J.)
	{ Mlles LAURENT (H.)
	{ LE NOIR (G.)
	{ QUIEVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MES PARENTS

A MA FEMME

A MES AMIS

A MON MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur R. MERLE D'AUBIGNE

*Professeur de Clinique chirurgicale réparatrice et orthopédique
de la Faculté de Médecine de Paris*

Chevalier de la Légion d'Honneur

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

En reconnaissance de l'exceptionnel enseignement reçu de lui.

A MON MAITRE

le Professeur André DELMAS

Professeur d'Anatomie

Qui m'inspira ce travail, me permit de le mener à bien, avec toute ma gratitude pour l'aide considérable qu'il m'apporta.

Qu'il veuille bien trouver dans cet exposé, le reflet de quelques idées qui lui sont chères et l'expression d'un profond et sincère attachement.

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

Monsieur le Professeur F. de GAUDART D'ALLAINES

Monsieur le Professeur agrégé Charles DUBOST

Monsieur le Professeur D. PETIT-DUTAILLIS

Monsieur le Professeur Jean PATEL

Monsieur le Professeur J.-C. RUDLER

Monsieur le Docteur P. PETIT

A MES AUTRES MAITRES DANS LES HOPITAUX

Monsieur le Professeur M. PERRAULT

Monsieur le Docteur C. NARDI

Monsieur le Docteur P. MONOD-BROCA

Monsieur le Docteur B. PERTUISET

Monsieur le Docteur M. POSTEL

Monsieur le Docteur R. MEARI

Monsieur le Docteur Cl. d'ALLAINES

Monsieur le Docteur Ph. BLONDEAU

A MES MAITRES DE LA FACULTE

Monsieur le Professeur G. CORDIER

Monsieur le Professeur G. OLIVIER

En témoignage de profonde gratitude.

INTRODUCTION

La multiplicité des problèmes physiopathologiques que soulève la charnière lombo-sacrée n'est plus à rappeler. Les spécialités les plus diverses nous offrent périodiquement les résultats de leurs recherches sur cette région.

Elle intéresse, au premier chef, l'anthropologiste qui y trouve un élément différentiel particulièrement important avec les autres espèces vivantes.

Elle concerne l'anatomiste qui s'efforce de dégager les éléments caractéristiques d'une région particulièrement sujette aux variations.

Quotidiennement, le rhumatologue et l'orthopédiste sont appelés à examiner les malades souffrant à ce niveau.

Un tel éventail de recherches, un aussi grand nombre de problèmes posés justifiaient donc un travail que nous avons cru devoir centrer sur la cinquième vertèbre lombaire, dernière pièce mobile ou du moins isolée du rachis avant le socle sacré.

Du point de vue anatomique, notre intention n'était pas de venir enrichir de détails nouveaux une région déjà suffisamment complexe en elle-même, et où chaque auteur classique avait déjà laissé son nom à un spicule osseux ou à une bandelette ligamentaire.

L'intérêt était de préciser la valeur fonctionnelle des différentes variations et d'essayer de déterminer les différents types physiologiques en partant des différents types anatomiques. Chaque modification d'apophyse articulaire, chaque forme d'apophyse transverse a certainement une signification fonctionnelle : nous avons essayé de la dégager et ensuite de classer les principaux types rencontrés sous l'impulsion du Professeur A. DELMAS.

Nous nous sommes trouvés amenés à revoir l'embryologie de la cinquième vertèbre lombaire à l'aide des pièces du laboratoire d'anatomie et en utilisant les reconstructions que le

Professeur Agrégé G. OLIVIER a bien voulu mettre à notre disposition.

Les effets des variations transitionnelles apparaissent ainsi à un stade très précoce et prennent une valeur physiologique considérable. De la topographie exacte de la charnière lombo-sacrée va, en effet, dépendre le niveau de transmission des pressions du rachis au bassin.

Cette étude embryologique nous aura permis d'envisager très brièvement le problème du spina bifida.

A la suite de cette étude embryologique, les différents problèmes anatomo-physiologiques sont envisagés.

Les disques sus et sous-jacents intéressent à la fois l'anatomiste et le clinicien, surtout par la question irrésolue de de leur innervation. On est ainsi amené à envisager le rôle du nerf sinu-vertébral et de la branche postérieure des nerfs rachidiens, ceci conduit à discuter les effets généraux de l'exisiation des éléments nerveux à destination discale.

Les différents ligaments qui entourent et complètent la cinquième vertèbre lombaire ont une physionomie très particulière qu'il convenait de préciser surtout dans les perspectives physiologiques.

Les variations de forme de la cinquième vertèbre lombaire vont ensuite nous amener à préciser les différents types de courbure lombaire, ceux-ci dépendent également de variations du socle sacré dont la définition a été tentée. Il se dégage ainsi la conception d'une charnière lombo-sacrée physiologique dont la localisation ne correspond pas dans tous les cas à celle que donne la numération vertébrale habituelle.

La cinquième vertèbre lombaire apparaît ainsi comme une pièce transitionnelle dont les caractéristiques sont tantôt lombaires, tantôt sacrées. Cette différenciation se retrouve également au niveau des éléments de l'arc postérieur et du canal vertébral.

Nous avons été guidés dans ces recherches par le Professeur A. DELMAS, auquel nous exprimons toute notre gratitude.

L'étude radiologique de la cinquième lombaire a été poursuivie dans le même sens que les recherches anatomiques. Les traits de radiologie fournissent suffisamment de détails sur les caractéristiques les mieux connues de cette vertèbre.

Reprenant les travaux de GALLOIS et JAPIOT, il a semblé inté-

ressant de préciser l'architecture intérieure de la cinquième vertèbre lombaire et de rechercher si la méthode radiologique mettait en évidence les mêmes caractères différentiels perçus par les recherches anatomiques.

C'était là, d'autre part, l'introduction à l'étude de la transmission des pressions et de la répartition des contraintes au niveau de la cinquième vertèbre lombaire.

Ceci nous a alors conduit à envisager la pathologie de la cinquième vertèbre lombaire, du moins à un chapitre très spécial de cette pathologie, les lésions par surcharge en rapport avec ce que certains ont appelé : l'insuffisance lombaire. Nous en avons rappelé les différents éléments par l'étude des forces de compression au niveau de la colonne lombaire et la détermination des contraintes s'exerçant sur la cinquième vertèbre lombaire.

Au premier rang de ces lésions s'inscrivent les hernies discales.

Les différentes anomalies morphologiques rencontrées au niveau de la cinquième vertèbre lombaire sont à l'origine de ce que notre Maître S. de SÈZE a appelé les algies vertébrales d'origine statique : à ce tableau appartiennent les pseudo-spondylolisthésis, la maladie de Bastrup, le sacrum basculé, pour ne citer que les plus courantes.

Ces anomalies morphologiques peuvent entraîner de très graves troubles : les scolioses congénitales.

La spondylolyse apparaît comme le type même de la lésion par surcharge : les recherches de photoélasticimétrie, de même que le calcul des contraintes confirment cette conception pathogénique.

Le blocage de la cinquième vertèbre lombaire a soulevé de nombreuses difficultés et suscité des solutions très diverses : nous les avons successivement envisagées en nous inspirant en particulier des publications de notre Maître R. MERLE D'AUBIGNÉ

Enfin, nous avons essayé de nous rendre compte si la méthode photoélasticimétrique appliquée à l'étude du rachis lombaire pouvait représenter un progrès en cette matière : ceci n'a pu être réalisé que grâce aux conseils éclairés de Monsieur GIET, Directeur du Laboratoire de Résistance des Matériaux de l'Ecole Nationale des Ingénieurs Arts et Métiers.

Monsieur J.-L. GUILLO, Ingénieur à la S.N.E.C.M.A., nous a

considérablement aidé dans l'interprétation des résultats et la mise au point de cette dernière partie n'aurait certainement pu être menée à bien sans sa collaboration.

Cette méthode, qui a donné de si fructueux résultats à PAUWELS dans l'étude de la hanche, ouvre en matière de physiologie rachidienne des perspectives nouvelles lourdes d'avenir.

LA PREMIERE VERTEBRE SACREE

L'ossification normale.

Ceci nous amène à envisager l'ossification très élective de la partie supérieure du sacrum. Elle reste dans le cadre de notre sujet d'étude, car c'est au niveau de celle-ci que les pressions transmises le long du rachis vont diverger vers le bassin pour gagner les membres inférieurs.

Les rapports du socle sacré et de la V^e vertèbre lombaire ont donc une importance capitale, comme nous aurons maintes fois l'occasion d'y insister.

Il faut d'emblée rappeler que si le sacrum adulte résulte de la fusion de cinq vertèbres sacrées, celles-ci reproduisent avec certaines modifications adaptées au rôle qu'elles ont à jouer, la conformation des vertèbres lombaires.

Autrement dit, sous des influences fonctionnelles que nous essaierons de déterminer, le modèle vertébral lombaire s'est transformé en pièce sacrée, soit par modification de certaines parties de la vertèbre, soit par adjonction de centres osseux complémentaires, caractéristiques du sacrum.

La réunion de ces pièces osseuses et la disparition par suite de leur ossification des sutures visibles qui les reliaient initialement, aboutissent à la formation du sacrum adulte.

Ces notions, déjà entrevues par Max Posth, ont été parfaitement analysées dans un travail de G. Winckler.

Ainsi le corps des trois premières vertèbres sacrées résulte de la fusion du centre primitif central avec les centres primitifs latéraux postérieurs et les centres alaires. Au niveau des deux dernières vertèbres sacrées, les centres alaires font défaut.

Les ailerons sacrés sont formés par la fusion du centre primitif latéral postérieur avec le centre alaire.

La ligne de suture de ces deux éléments se retrouve chez

l'adulte au niveau d'une dépression qui longe le bord antérieur de l'apophyse costiforme toujours visible.

Cette dépression s'étend depuis le corps vertébral jusqu'au bord externe de l'aileron et correspond à cet endroit à l'extrémité postéro-supérieure de la facette auriculaire.

La partie de l'aileron qui est longée latéralement par le bord supérieur de la facette auriculaire, correspond au centre alaire.

Partant du canal sacré, on peut observer une gouttière en Y, destinée à loger le nerf rachidien et ses deux branches antérieure et postérieure.

Cette gouttière se superpose au canal de conjugaison et au canal sacré latéral sous-jacent.

Au niveau de leur face antérieure, les corps vertébraux sont séparés par des crêtes osseuses transversales. Les trois premiers se prolongent latéralement par des ponts osseux qui servent à délimiter les trous sacrés antérieurs et correspondent aux trois centres alaires.

Les deux autres corps vertébraux se prolongent latéralement par les pédicules.

Latéralement, la face antérieure du sacrum, qui a la forme d'un V fortement ouvert, correspond au bord antérieur de la facette auriculaire et par conséquent aux trois centres alaires.

Les deux autres sont simplement concaves.

Sur sa face postérieure, la crête sacrée présente habituellement quatre tubercules correspondant aux apophyses épineuses des quatre premières vertèbres sacrées. La cinquième ne se développe pas, ce qui contribue à augmenter l'étendue de l'échancre sacrée, limitée en haut par l'apophyse épineuse de S 4, en bas et latéralement par les cornes sacrées.

A l'orifice supérieur du canal sacré, on retrouve un dispositif analogue mais inversé : une échancre limitée en bas par l'apophyse épineuse de S 1, et en haut et latéralement par les apophyses articulaires supérieures du sacrum.

Les quatre tubercules sacrés postéro-internes s'établissent sur une ligne légèrement oblique reliant le tubercule mammaire de l'apophyse articulaire de S 1 à la corne du sacrum.

Les quatre trous sacrés postérieurs sont situés sur une ligne oblique commençant par la gouttière placée entre l'apophyse articulaire supérieure du sacrum et l'apophyse costiforme.

Elle se termine en bas, au niveau d'une autre gouttière disposée en sens inverse et donc concave vers le bas. Elle est comprise entre la corne du sacrum et le tubercule accessoire de S5.

Les tubercules sacrés postéro-externes sont répartis sur le trajet d'une ligne sinueuse, véritable crête festonnée allant de l'apophyse costiforme de S1 au tubercule accessoire de S5. Rappelons à ce propos la formation des tubercules postéro-externes par fusion du tubercule accessoire d'une vertèbre sacrée avec l'apophyse costiforme d'une vertèbre sous-jacente.

Les trois premières échancrures de cette crête contribuent par leur versant concave externe à délimiter les trois fosses criblées. Ces dernières s'étendent en hauteur depuis l'apophyse costiforme de S1, jusqu'au troisième tubercule sacré postéro-externe.

Les deux dernières échancrures de cette crête dont la concavité regarde médialement, se placent dans le prolongement de la gouttière qui fait suite aux troisième et quatrième trous sacrés.

L'existence des fosses criblées paraît liée à la présence des trois centres alaires.

Les faces latérales sont occupées principalement par la facette auriculaire. Celle-ci est ordinairement divisée en trois segments qui correspondent à la face latérale des trois centres alaires. Ces trois segments sont séparés par deux dépressions linéaires, qui indiquent l'emplacement de la fusion des trois centres alaires.

Vers dix-huit ans, des points osseux complémentaires apparaissent principalement le long du bord antérieur de la facette auriculaire.

Ce sont les points marginaux supérieurs par opposition aux points marginaux inférieurs localisés sur le bord latéral du sacrum, correspondant à S4 et S5.

Ainsi toute la morphologie du sacrum envisagée à ses différents stades de développement, semble conditionnée et influencée par l'existence des centres alaires.

Les centres alaires se greffent sur les trois premières vertèbres sacrées, ils contribuent ainsi à modifier l'aspect de ces vertèbres.

Il n'y a donc pas identité complète de constitution entre ces trois premières vertèbres et l'une quelconque des autres vertèbres du rachis.

Ces trois centres alaires participent à la constitution du corps des trois premières vertèbres sacrées, à la délimitation des trois premiers trous sacrés antérieurs et des canaux sacrés antérieurs qui leur font suite vers l'arrière ; ils forment une partie de chaque fosse criblée, et leur face latérale supporte la facette auriculaire.

Ils servent de trait d'union entre le sacrum (S 1, S 2, S 5) et l'os coxal (facette auriculaire de l'os iliaque, ligne innommée et éperon ischiatique).

Ils renferment la partie initiale condensée du faisceau de travée osseuse qui se prolonge dans l'os axial par celui de l'éperon ischiatique.

Ainsi Winckler considère que le terme de point coxal utilisé pour qualifier le centre primitif latéral antérieur du sacrum est mal choisi. Celui de centre alaire lui semble meilleur, puisque c'est aux dépens de ce centre que se forme une partie de l'aileron, élément le plus caractéristique du sacrum.

L'existence des centres alaires au niveau de S 1, S 2, S 5, et leur absence sur les deux dernières vertèbres sacrées, s'explique par le rôle qu'ils ont à jouer en raison des rapports précis qu'ils contractent avec la facette auriculaire de l'os axial, sur laquelle ils viennent s'adapter. Ils assurent la jonction entre le corps des trois premières vertèbres sacrées et la surface auriculaire de cet os coxal. Ils représentent des ponts osseux renfermant les travées osseuses qui supportent les lignes de force descendant du rachis vers le bassin.

La courbure des faces supérieure et antérieure des ailerons, leur inclinaison, les mettent dans le prolongement direct de la portion de l'os coxal, sus-jacente à la grande échancrure sciatique. C'est la portion la plus dense, la plus épaisse et la plus résistante de l'os coxal.

Elle renferme, d'après les travaux de Latarjet et Gallois, puis de Rouvière et Delmas, l'éperon ischiatique, véritable centre de distribution des poutres osseuses et des arcs-boutants destinés à la partie supérieure de la cavité cotyloïde, de l'ischion et du pubis.

Les effets des variations transitionnelles.

Winckler a suivi les déplacements de la facette auriculaire au cours des processus de sacralisation et de lombalisation.

Quand il y a sacralisation de L5, on retrouve sur la face antérieure les six corps vertébraux soudés au moins en surface, car en profondeur le disque intervertébral persiste plus ou moins. Ceci est très net sur des coupes sagittales.

Sur la face postérieure, très souvent la première apophyse épineuse, celle de L5, reste libre et ne s'incorpore pas à la crête sacrée.

Les lames et les apophyses articulaires peuvent également être incomplètement soudées à l'élément sous-jacent.

Pour le reste, on remarque cinq tubercules sacrés postéro-internes, cinq trous sacrés postérieurs, cinq tubercules sacrés postéro-externes et trois fosses criblées seulement.

Elles sont décelées vers le haut, la première correspond à L5, mais celle de S1 reste la plus importante.

Sur la face latérale, la facette auriculaire est décalée et plus haute que normalement. Elle est supportée par la face latérale de L5, S1, S2, les trois segments de cette facette, séparés par des dépressions linéaires, tendent à devenir équivalents. Sur la base, on note peu de changement.

L'apophyse costiforme est plus saillante, ce qui met en relief cette partie postérieure de l'aileeron.

La face supérieure de ce dernier, celle qui correspond au centre alaire, est habituellement beaucoup plus inclinée vers l'avant et vers l'extérieur.

En cas de lombalisation de S1, le corps du sacrum présente sur sa face antérieure quatre corps vertébraux soudés, trois orifices antérieurs complets. Le premier orifice entre S1 et S2, est formé de deux moitiés non soudées comme au stade juvénile.

Sur la face postérieure, la crête sacrée ne comporte que trois apophyses épineuses soudées. Il n'existe que trois tubercules sacrés postéro-internes normaux ; à la place du premier, on voit la superposition des apophyses articulaires de S1 et S2 avec une véritable articulation dont les surfaces sont orientées frontalement.

Les trous sacrés, réguliers, sont au nombre de trois. Comme pour la face antérieure, celui qui est compris entre les deux premières vertèbres sacrées est formé de deux moitiés libres.

Sa lumière est irrégulière et ses diamètres agrandis. Il n'y a que trois tubercules sacrés postéro-externes et deux fosses criblées seulement.

Sur la face latérale, la facette auriculaire est divisée en deux parties.

La première comporte le segment supérieur, très amoindri, correspondant au centre alaire de S 1. Elle est séparée de l'autre par du tissu conjonctif dense formant une véritable suture, comme au stade juvénile.

La seconde partie de la facette auriculaire englobe les deux segments moyen et inférieur, supportés par la partie latérale des centres alaires de S 1 et S 2 ; ils sont nettement séparés par une dépression linéaire. C'est le segment moyen qui est le plus fort, puisqu'il représente, à lui seul, presque la moitié de la hauteur de la facette auriculaire.

Il semble, à titre général, qu'en cas de lombalisation de S 1, la surface auriculaire se soit abaissée et que son extrémité inférieure atteigne le niveau de la suture intervertébrale entre S 3 et S 4.

Ces notions bien mises en évidence par G. Winckler montrent déjà toute la valeur fonctionnelle de modifications trop souvent considérées comme de simples variations morphologiques.

LE DISQUE

Etude expérimentale.

Pedersen et ses collaborateurs sont parmi les premiers à avoir tenté une étude expérimentale de la physiologie de ces éléments nerveux.

Ils essayèrent tout d'abord de réaliser cette étude expérimentale sur un singe, mais ils se heurtèrent à de telles difficultés qu'ils furent obligés de renoncer.

Ils utilisèrent donc un chat décérébré ; cependant la rigidité musculaire due à la décérébration est susceptible de masquer certaine réponse réflexe.

Si l'on recoupe la moelle de l'animal dans la région thoracique, la rigidité disparaît au-dessous du niveau de la section, les muscles fléchisseurs peuvent alors extérioriser leur activité réflexe.

D'autre part, le choc réflexe est de relativement courte durée chez le chat.

Bien que les résultats acquis chez le chat ne soient pas nécessairement applicables aux primates, ils sont susceptibles de mettre en évidence l'existence de connexion médullaire hautement significative. Chez tous les animaux décérébrés, la recoupe médullaire ne fut pas systématiquement pratiquée afin de pouvoir étudier l'existence d'éventuelles liaisons corticales.

La section médullaire elle-même provoque en effet une chute tensionnelle par l'interruption des voies sympathiques.

On utilise des stimuli mécaniques par écrasement des articulations, des aponévroses, des muscles, des ligaments et de la peau, à l'aide d'une pince.

L'injection de sérum salé hypertonique fournit un autre mode de stimulation.

Dans quelques protocoles expérimentaux, la branche postérieure des nerfs rachidiens fut excitée électriquement par l'intermédiaire de chocs intenses et répétés.

L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE RÉFLEXE.

L'excitation mécanique des éléments articulaires ligamenteux, périostiques ou musculaires, entraînait de façon constante la contracture réflexe des muscles dorsaux, la réponse était dans la majorité des cas homolatérale.

L'écrasement des muscles apparaissait cependant comme le stimulus le moins efficace. Une contracture identique s'observait au niveau des triceps suraux en particulier lorsque l'excitation portait sur des éléments situés dans la région lombosacrée. Une telle contracture pouvait même persister un certain temps après que la stimulation ait été interrompue. Cette contracture était en général homolatérale.

Des réflexes musculaires furent également observés au niveau des muscles de la cuisse et de la paroi abdominale.

Lewis et Kellgren obtinrent des résultats analogues par injections de solution salée hypertonique dans les ligaments interépineux du chat et de l'homme.

Ainsi les nerfs sinu vertébraux et les branches postérieures des nerfs rachidiens semblent composés de fibres sympathiques et de fibres sensitives. Nombre de ces dernières sont myélinées et selon toutes probabilités les plus petites sont des fibres de la douleur, tandis que les plus grandes sont des fibres proprioceptives. Si l'on sait qu'il existe des influx proprioceptifs, au niveau des articulations cervicales du chat, et si on leur fait jouer un rôle important dans la posture du cou, on ignore tout quant à l'existence de tels réflexes dans la région lombosacrée. Du point de vue clinique, les fibres importantes de ces nerfs sont celles qui transportent les influx douloureux.

L'expérimentation montre que l'excitation de ces fibres entraîne des réponses réflexes avec modifications de la pression artérielle et de la respiration en même temps, on constate l'apparition de contractures musculaires étendues.

Dans ces conditions, les nerfs sinu vertébraux et les branches postérieures des nerfs rachidiens contiennent certainement des fibres de la douleur.

Les modifications du rythme respiratoire sont celles qui peuvent succéder à n'importe quel stimulus douloureux, elles n'ont par conséquent aucune spécificité. Il en est de même pour les modifications de la pression artérielle.

Les variations obtenues peuvent s'expliquer de la façon suivante :

Au niveau des nerfs périphériques, il existe des fibres de faible diamètre à conduction lente qui ont un effet vaso-presseur positif, l'effet vaso-dépresseur étant sous la dépendance de fibres de large diamètre à conduction rapide. Lorsque les deux groupes de fibres sont excités simultanément, la réponse peut être tantôt positive, tantôt négative.

CONSÉQUENCES PHYSIO-PATHOLOGIQUES.

Ces recherches permettent d'envisager le mécanisme physiologique des syndromes douloureux lombalgiques et sciatiques.

Deux questions essentielles se posent en ce qui concerne les lésions du disque intervertébral.

Lorsqu'une racine nerveuse n'est pas en cause, la douleur est-elle simplement le résultat de l'excitation du nerf sinu vertébral ou bien les fibres de la branche postérieure du nerf rachidien interviennent-elles également ?

Quel est le mode de production de la douleur dans le membre inférieur ?

La pression sur le disque malade reproduit la lombalgie. La pression sur un disque normal n'entraîne pas une telle douleur et Hirsch et Schajowicz ont suggéré que la sensibilité du disque malade pouvait être due à l'apparition de fibres nerveuses au niveau du tissu de granulation qui occupe les fissures du disque.

L'injection de solution salée hypertonique dans les muscles dorsaux et dans les ligaments entraîne une douleur lombaire diffuse et très peu localisée. Ainsi un stimulus douloureux d'une structure profonde peut entraîner une lombalgie.

Dans le cas d'une maladie du disque intervertébral, des stimuli douloureux peuvent apparaître simultanément au niveau de ces différentes structures. Putti et Badgley avaient déjà attiré l'attention sur le rôle des articulations intervertébrales dans la genèse des lombalgies et des sciatalgies.

Harris et Macnab ont étudié les modifications structurales accompagnant les lésions discales : ils ont insisté sur le fait que le rétrécissement de l'espace intervertébral entraîne une subluxation des articulations et que la pointe de l'apophyse articulaire inférieure provoque en appuyant sur la lame sus-jacente une réaction de production osseuse. De telles modifications dégénératives peuvent fort bien être à l'origine de manifestations douloureuses.

Falconer et ses collaborateurs ont montré que la pression directe sur un disque pathologique entraîne une lombalgie, mais ne provoque pas de sciatalgie. Hirsch a montré que les modifications de pression qu'entraîne à l'intérieur d'un disque l'injection de différentes solutions reproduit le syndrome douloureux. Lindblom et Perey reproduisent lombalgie et sciatalgie en injectant à l'intérieur du disque pathologique une substance de contraste, ils suppriment la douleur en ajoutant à cette solution un anesthésique local.

Il est difficile d'expliquer ces faits, à moins d'admettre que l'anesthésique a diffusé jusqu'à atteindre le nerf rachidien et le nerf sinu vertébral.

La plupart des auteurs considèrent que la douleur du membre inférieur ne peut apparaître en dehors d'une compression radiculaire directe. Cependant la pression sur un disque pathologique en salle d'opération est assez peu comparable aux effets statique et cinétique du poids du corps sur le même disque. Le fait qu'expérimentalement on ne reproduise pas la sciatalgie ne signifie pas qu'a priori un stimulus suffisamment intense ne soit pas capable de la provoquer.

LES LIGAMENTS

Les ligaments antérieurs et postérieurs.

Les ligaments communs antérieurs et postérieurs se développent à partir de la membrane interdiscale.

Les autres ligaments inter-apophysaires se développent à partir des membranes interdorsales et interventrales.

DESCRIPTION.

Le ligament commun antérieur recouvre la paroi antéro-latérale de la charnière lombo-sacrée. Il est constitué de cordons fibreux allant de la V^e vertèbre lombaire au sacrum. Il s'insère sur la face antérieure et latérale du corps vertébral dont il constitue le périoste.

Seuls quelques rares faisceaux fibreux vont relier le disque intervertébral à ces ligaments.

L'insertion du ligament a lieu à une certaine distance du listel au point de jonction de celui-ci avec la masse du corps vertébral.

Il existe ainsi entre le ligament commun en avant le disque et le rebord des plateaux vertébraux ; en arrière une zone cellulo-adipeuse libre. Cette notion a selon Schmorl une importance capitale pour la compréhension des phénomènes physio-pathologiques de cette région. Le ligament postérieur est moins large et plus gros que le ligament antérieur. Il s'insère solidement sur le disque intervertébral et le listel marginal. Il recouvre la face postérieure du corps vertébral légèrement en retrait.

C'est entre les ligaments postérieurs et le corps vertébral que se localisent les plexus veineux auxquels viennent aboutir les veines vertébrales.

ETUDE EXPÉRIMENTALE.

Rainer et Cotaescui ont essayé de donner une interprétation fonctionnelle de ce qu'ils ont appelé l'appareil fibreux de la colonne vertébrale. Ils considèrent que le rachis est formé de deux séries d'éléments.

Des segments sondes représentés par le corps des vertèbres des segment flexibles représentés par les disques : c'est l'appareil fibreux qui assure la solidarité de ces différents segments. En effet, les corps sont adaptés à résister aux phénomènes de surcharge, le rôle des disques serait d'assurer la flexibilité de la colonne des corps, sans diminuer la capacité de résistance aux pressions.

Le revêtement fibreux qui sert de trait d'union entre les segments de la colonne en assure ainsi l'unité. Les auteurs ont ainsi essayé d'isoler en entier cet appareil fibreux : ceci leur a permis d'obtenir une formation continue dont ils ont étudié la résistance à la traction et à la surcharge.

L'expérimentation a porté sur des colonnes dont l'os a été enlevé en perforant à l'aide de la fraise les pédicules des vertèbres après ablation de la plaque dorsale des arcs.

Considéré dans son ensemble, c'est dans la région cervicale que l'appareil fibreux de la colonne vertébrale présente la plus petite résistance à la traction.

Vient ensuite la région thoracique supérieure et la région lombaire qui nous intéresse directement ; la région la plus résistante est la région thoracique inférieure.

La rupture causée par la traction la plus forte se produit, en effet, sur toutes les préparations, au niveau de la II^e vertèbre dorsale.

Il est intéressant de noter que la lordose lombaire disparaît rapidement au cours des tractions fortes, de même d'ailleurs que la lordose cervicale, alors que la cyphose thoracique va persister.

Les caractères de la rupture lorsque la traction dépasse la capacité de résistance sont à envisager.

En effet, la rupture des ligaments se fait de façon différente suivant que la surcharge est lente ou rapide.

La surcharge lente entraîne l'arrachement des ligaments par le clivage de leurs fibres sur une très longue distance sans que ce fait permette de préciser la longueur des fibres

que forment les ligaments. Il est absolument certain qu'elles dépassent pour la plupart la longueur de deux disques intervertébraux.

La surcharge rapide produit une rupture nette et transversale sans arrachement de fibres. Ce genre de rupture se produit toujours au niveau d'un espace entre deux disques. La résistance du ligament dorsal est très inférieure à celle du ligament ventral. Lorsque la courbure de la région oblique fait le ligament ventral à supporter le maximum d'effort, sa rupture était toujours suivie de celle de l'appareil fibreux tout entier. On peut affirmer que la résistance à la traction de l'appareil fibreux est entièrement due au ligament ventral, celui-ci constitue la formation la plus puissante.

Ces recherches montrent que les insertions de l'appareil fibreux de la colonne vertébrale se font sur les corps des vertèbres et que seuls les ligaments ont des fibres longues qui englobent au minimum deux disques intervertébraux. La tunique fibreuse étant formée de fibres courtes qui ne surmontent qu'un seul disque intervertébral.

PHYSIOLOGIE.

Rappelons que l'élasticité est la propriété qu'ont certains corps de revenir sur eux-mêmes après avoir subi des sollicitations en tension, en compression, en cisaillement, etc... La caractéristique essentielle du ligament jaune serait donc l'existence du tissu élastique. Fick a mesuré le coefficient d'élasticité du ligament jaune, qui serait de 0,02-0,1 à la traction. Autrement dit, une éprouvette de ligaments jaunes de 1 mm de section s'étend de 0,02-0,1 de sa longueur si on le charge de 1 kg.

Le module d'élasticité est égal à l'inverse de la valeur du coefficient d'élasticité. Il indique la charge qui permet à l'éprouvette de doubler de longueur. Pour Triepel, le degré d'élasticité des ligaments jeunes n'est pas invariable. Sa valeur s'accroît en même temps que l'allongement. L'extensibilité devient d'autant plus petite et la résistance élastique d'autant plus forte que l'extension obtenue est plus grande.

Elle est sans rapport avec l'extensibilité des matériaux industriels, car pour le ligament jaune, la charge peut croître beaucoup plus vite que l'allongement.

La limite jusqu'à laquelle un corps peut être chargé et reprendre ensuite sa forme lorsque la charge cesse de s'exercer est la limite d'élasticité. Dès que cette limite a été dépassée, il n'y a plus retour à la forme primitive. Plus grande est la limite d'élasticité et par conséquent plus le corps est élastique. Le potentiel d'élasticité du ligament jaune comprend au moins celui des extensions que l'on peut rencontrer sur l'organisme vivant.

Triepel a montré que l'extensibilité du ligament jaune pouvait être fixée à environ 120 %. La résistance maximum est atteinte lorsque l'on parvient à une extension de 130 %. C'est à ce moment que la rupture se produit.

La diminution d'élasticité chez le sujet âgé serait en rapport non seulement avec les surcharges subites, mais également avec des modifications cellulaires profondes dont les mieux connues sont les modifications de la teneur en eau.

Les éléments du ligament jaune sont essentiellement sollicités par des contraintes en tension ; ceci fournit une explication de la structure linéaire du ligament jaune, c'est-à-dire du parallélisme absolu des faisceaux du tissu élastique.

Il nous reste à envisager le rôle des ligaments jaunes dans le maintien de la lordose lombaire.

Hirschfeld, dès 1847, attribuait aux ligaments jaunes la production et le maintien des courbures.

Après avoir sectionné les pédicules vertébraux, il aurait observé le redressement du rachis.

Sappey n'a jamais observé un tel phénomène, qui est également infirmé par Rainer. Pour ce dernier, la section des pédicules efface la lordose lombaire. De même d'ailleurs que la lordose cervicale. La colonne vertébrale ne se redresse donc pas comme l'affirmait Hirschfeld, mais elle ne conserve pas davantage la forme comme le soutenait Fick ; d'autre part, la désinsertion des ligaments longitudinaux antérieurs et postérieurs n'entraîne pas non plus l'effacement complet des courbures. Sapey et Fick estimaient déjà que le maintien des courbures de la colonne vertébrale était dû à la différence de hauteur entre la partie antérieure et la partie postérieure des corps vertébraux et des disques intervertébraux. Des recherches personnelles nous ont montré toute l'importance et toutes les variations de la forme du corps vertébral de la cinquième vertèbre lombaire.

Les ligaments jaunes jouent un rôle considérable dans le maintien de la lordose lombaire, leur force élastique s'ajoute de façon synergique à l'action des muscles du tronc.

Dans la position verticale, une force dont la valeur réelle est difficile à préciser tire constamment sur les corps vertébraux par l'entremise des arcs et maintient, en même temps que les muscles directeurs, la lordose. En résumé, les ligaments jaunes ont :

— une fonction statique, ils contribuent à la fermeture des espaces compris entre les arcs postérieurs, ils maintiennent les courbures rachidiennes par le fait qu'ils se trouvent en extension incessante ;

— une fonction dynamique, ils limitent les mouvements de flexion antérieur et latéral du rachis.

Récemment, Delmas et Ternon sont revenus sur la valeur fonctionnelle de certains éléments du système ligamentaire de l'arc postérieur. Du point de vue anatomie morphologique, la description d'un appareil ligamentaire particulier à chaque élément de l'arc postérieur des vertèbres peut se justifier.

Cependant, du point de vue physiologique, l'arc postérieur et ses ligaments forment un tout : les variations de disposition selon l'étage envisagé traduisent les processus d'adaptation fonctionnelle.

Au niveau du rachis lombaire, en ce qui concerne les ligaments jaunes, le fait essentiel leur semble être l'annexion du ligament jaune par l'articulation devenue trochoïde. Jusque-là, il n'était qu'un ligament articulaire à distance. Dans la région lombaire, il épouse complètement la convexité articulaire en s'étendant jusqu'au trou de conjugaison.

LE CORPS VERTEBRAL DE L 5

Généralités.

Toute description de la forme du corps vertébral de la cinquième lombaire ne peut être qu'approximative. Il s'agit là en effet d'une vertèbre essentiellement transitionnelle qui témoigne de l'adaptation à un mode de locomotion très spécial, lié au redressement de la courbure lombaire.

Tous les intermédiaires peuvent exister entre une vertèbre transitionnelle ayant nettement le type lombaire et une vertèbre dont les caractères principaux reproduisent la morphologie sacrée.

Dans son traité d'ostéologie, Hovelacque note que la cinquième vertèbre lombaire présente un corps plus volumineux que celui des autres vertèbres et que tous ses diamètres sont augmentés. Elle est en forme de coin, sa face inférieure étant dirigée fortement en haut et en arrière.

La crête marginale est très marquée. Ce sont là les seuls détails que cet auteur habituellement si fourni nous donne sur cette pièce osseuse.

Leri s'étonnait déjà des innombrables variations de la cinquième vertèbre lombaire : il notait la possibilité d'un aplatissement considérable réduisant la hauteur du corps vertébral à la moitié de celle de la quatrième vertèbre lombaire. Cette réduction s'accompagnant d'un degré très prononcé d'étalement comme si la vertèbre regagnait en largeur ce qu'elle perdait en hauteur. De même, la position de la cinquième lombaire par rapport aux crêtes iliaques est très variable ; elle apparaît tantôt enfoncée dans le bassin, tantôt au contraire surélevée, surplombant nettement l'excavation pelvienne.

Pendant longtemps, ces variations morphologiques ont été dénombrées avec un simple intérêt de collectionneur.

Les embryologistes, en s'emparant du problème, y introduirent un élément nouveau de grande valeur par la compa-

raison avec les différentes espèces et par l'étude de l'évolution dans l'espèce humaine même. Il en résulte des notions de cranialisation et de caudalisation du bassin qui permirent de comprendre l'ascension ou au contraire l'encastrement de la cinquième vertèbre lombaire. Pourtant la valeur exacte de ces variations n'apparut clairement que lorsque ces problèmes furent discutés en termes d'anatomie fonctionnelle. Les différents aspects observés purent alors s'intégrer dans les différents types fonctionnels de rachis qui furent dénombrés.

La forme de la V^e vertèbre lombaire devenait ainsi un des éléments déterminants de la courbure lombaire. Mais cette caractérisation numérique de cette vertèbre présente une valeur restrictive et limitative.

Ce qu'il convient d'étudier, ce n'est pas la vingt-quatrième vertèbre en partant de l'atlas, mais la dernière vertèbre libre avant le socle sacré. Celle au niveau de laquelle l'ensemble des charges transmises par le rachis va diffuser vers le bassin et les membres inférieurs.

Variations numériques.

Il nous faut donc tout d'abord discuter du problème des variations numériques.

Chez l'homme, le nombre des vertèbres présacrées groupant les rachis cervical, dorsal et lombaire est considéré comme relativement constant dans son chiffre de vingt-quatre, celui des vertèbres sacrées étant de cinq, celui des coccygiennes étant de cinq.

Cependant, sur une série de 118 rachis humains, Schultz et Strauss n'ont retrouvé ce type que dans 62,5 % des cas. Delmas, dans deux séries totalisant 240 rachis, donne le chiffre de 71 %. Les 82 variations qu'il a rencontrées se répartissent de la façon suivante : 2 pour la région cervicale, auxquelles il joint 5 variations partielles, 16 pour la région dorsale, 10 pour la région lombaire et 49 pour le sacrum.

Les recherches d'anatomie comparée montrent les faits suivants : les singes du nouveau monde, qui sont quadrumanes, ont un long rachis présacré, formé de 26 vertèbres, et un sacrum court qui ne compte que trois vertèbres, un rachis caudal très long qui comprend 20 vertèbres. Chez les anthro-

poïdes (chimpanzés, orangs, gorilles), le rachis présacré se raccourcit et ne compte plus que 23 à 24 vertèbres, en même temps le sacrum s'allonge et se trouve formé de 5 à 6 vertèbres. le rachis caudal est réduit à 3 vertèbres. Ces anthropoïdes ont une station semi-érigée, ils progressent en s'appuyant à la fois sur les membres inférieurs et sur les membres supérieurs. Leur tronc est volumineux et, interprétée mécaniquement, la réduction de leur colonne lombaire peut s'expliquer par l'intégration de la V^e vertèbre lombaire au sacrum. La vingt-quatrième vertèbre lombaire ne serait pas chez le chimpanzé la V^e lombaire, mais correspondrait à la première vertèbre sacrée, d'où la plus grande longueur du sacrum robuste et engrainé avec l'os iliaque.

L'érection totale du tronc chez l'homme aurait une conséquence inverse, la vingt-quatrième vertèbre à partir de l'atlas, est de nouveau la V^e vertèbre lombaire. L'interprétation mécanique de cette augmentation numérique serait un arrachement de la première vertèbre sacrée, qui devient lombaire. Cette explication toute mécanique peut être discutable, mais montre que les vertèbres les plus basses du rachis embryonnaire tendent à s'individualiser et à se libérer de la portion soudée du rachis qu'à emprisonner le bassin.

Pour Kuhn, il y aurait là une tendance à la cranialisation du rachis humain. Le caractère incertain des vertèbres de la jonction cervico-dorsale et de la charnière dorso-lombaire en est un autre témoin : la septième vertèbre cervicale peut avoir un caractère dorsal, mais la première vertèbre dorsale a plus souvent un caractère cervical. Dans le premier cas la septième vertèbre cervicale porte des rudiments costaux, dans le second cas, la première côte réduite est reliée au sternum par un long cartilage costal. Ce caractère incertain se retrouve au niveau des 11^e et 12^e vertèbres dorsales et des 1^{re} et 2^e vertèbres lombaires.

Mais, bien entendu, c'est au niveau de la V^e vertèbre lombaire que ces variations sont les plus importantes, les phénomènes de lombalisation et de sacralisation sont connus de longue date. Cette dénomination a cependant quelque chose de fâcheux en ce sens qu'elle suppose l'existence d'un processus pathologique ; en réalité, il s'agit là d'un mode d'adaptation à la station érigée à son propos par suite de surmenages

locaux étudiés par de Sèze, des processus pathologiques peuvent apparaître.

Rappelons que l'on parle de sacralisation lorsque l'apophyse transverse de la dernière vertèbre présacrée s'aligne d'un côté ou des deux sur les masses latérales du sacrum, ou lorsque cette vertèbre se soude à la première pièce du sacrum.

La lombalisation désigne la séparation de la première pièce sacrée ; celle-ci, après le développement insuffisant de ses ailerons, prend la forme d'une vertèbre lombaire.

En examinant une telle vertèbre transitionnelle isolée, il est impossible d'affirmer avec certitude s'il s'agit d'une vertèbre sacralisée ou lombalisée. Pour déterminer la tendance ascendante ou descendante de la différenciation vertébrale, il est indispensable de compter toutes les vertèbres de haut en bas selon la classification de Rosenberg.

Mais des difficultés peuvent se présenter même en procédant de cette manière. Du point de vue anatomo-pathologique et radiologique, on est donc obligé de dénommer ces vertèbres, vertèbres lombo-sacrées transitionnelles.

Certains auteurs ont essayé de tourner la difficulté résultant de la numération des vertèbres en fixant une norme pour chaque vertèbre lombaire ; ceci permettrait son identification radiologique. D'après Brandt, les apophyses transverses de L3 et L4 présenteraient dans 95 % des cas des particularités caractéristiques permettant leur identification certaine. Holitsch utilise L4 comme point de repère ; d'après lui l'apophyse transverse de cette quatrième vertèbre lombaire serait plus courte et plus fine que celles de L1 et L3, elle se terminerait en pointe orientée vers le haut, alors que la transverse L3 se termine par un bord vertical. Son bord inférieur dessinerait enfin au tiers moyen une convexité lenticulaire.

La confusion des termes de sacralisation et lombalisation est une autre cause de la discordance signalée des statistiques.

Pour les uns, toute hypertrophie, même la plus modeste, de l'apophyse transverse est considérée comme un indice de sacralisation, alors que d'autres exigent l'existence d'une grosse apophyse costiforme à trajet oblique de haut en bas.

Pour ordonner et grouper les variantes multiples de la vertèbre transitionnelle lombo-sacrée, de nombreuses classifications ont été proposées. L'unité n'a pu être réalisée, car

elle relève tantôt de critères radiologiques, tantôt de manifestations cliniques apparentes. Ledouble distingue six formes de vertèbres transitionnelles. Schmorl adopte la classification de Blumensaat et Clasing.

Dans le groupe I, il existe une sacralisation complète caractérisée par une synostose complète de la vingt-quatrième vertèbre avec la première pièce sacrée. Ou bien il s'agit au contraire d'une lombalisation complète, c'est-à-dire d'une indépendance absolue de la première vertèbre sacrée, qui devient sixième vertèbre lombaire.

Le groupe II : il se caractérise par une sacralisation et une lombalisation incomplète. Il peut s'agir :

— d'une synostose asymétrique et d'une fusion partielle uni ou bilatérale avec la vertèbre voisine ;

— d'une hémisacralisation ou d'une hémilombalisation partielles ;

— enfin d'une association de sacralisation et de lombalisation partielles.

Dans le groupe III se rangent les formes transitionnelles des apophyses transverses avec hyperplasie des costiformes sans contact avec le sacrum.

Les apophyses transverses d'une vertèbre transitionnelle s'articulant aux ailerons du sacrum présentent d'importantes modifications anatomo-radiologiques. Il peut s'agir d'articulations vraies avec cartilage d'encroûtement et capsule articulaire, ou bien d'articulations ligamentaires.

Elles sont fréquemment le siège de lésions d'arthroses progressives avec ou sans facettes articulaires, des ostéophytes et de la sclérose des segments osseux limitrophes.

Des bourses synoviales peuvent se former entre les articulations apophysaires d'une vertèbre transitionnelle et les masses latérales du sacrum. La sacralisation serait plus volontiers unilatérale, alors que la lombalisation serait de préférence bilatérale. Rappelons que la vertèbre transitionnelle asymétrique unilatérale provoque des déviations scoliotiques graves par torsion et rotation des vertèbres. La scoliose congénitale est souvent en rapport avec une hémivertèbre transitionnelle sacro-lombaire. Les apophyses articulaires

participent également à la formation des vertèbres transitionnelles de la charnière lombosacrée.

Elles se fusionnent avec le sacrum, soit entièrement, soit partiellement.

Souvent elles ne sont qu'atrophées.

Le disque intervertébral au-dessous de la vertèbre transitionnelle est habituellement très aplati, quelquefois il disparaît complètement ou bien il n'en persiste que des vestiges comme c'est le cas du disque intervertébral de la première pièce sacrée. D'après Blumensaat et Clasing, le disque intervertébral serait anormalement haut au-dessus d'une vertèbre lombalisée. Le canal vertébral d'une vertèbre sacralisée apparaît triangulaire comme celui du sacrum.

Le trou de conjugaison entre la vertèbre transitionnelle et le sacrum ne présente apparemment ni réduction ni rétrécissement notables.

Le problème des rapports entre ces modifications morphologiques et les phénomènes pathologiques si fréquents de cette région a fait l'objet de multiples discussions.

Avant de l'envisager, nous voudrions tout d'abord rappeler les modifications et en particulier l'ossification qui est susceptible de survenir au niveau des ligaments ilio-lombaire et ilio-sacré.

Les ligaments ilio-lombaire et ilio-sacré forment des brides fibro-conjonctives solides et serrées partant du sommet de l'apophyse transverse de la dernière vertèbre présacrée pour s'insérer sur la crête iliaque, la face interne de l'os iliaque et l'aileron sacré. Lorsque ces ligaments sont ossifiés, la dernière vertèbre lombaire peut présenter à l'examen radiologique une certaine similitude avec une vertèbre transitionnelle. L'origine exacte de ce processus reste très discutée ; pour certains il s'agirait d'une anomalie congénitale. Pour d'autres, cette ossification résulterait d'un processus infectieux. L'hypothèse la plus intéressante est celle qui relie cette ossification à une surcharge du rachis. Cette surcharge aurait pour effet la transformation des ligaments et entraînerait bien entendu d'importantes modifications de la statique et de la cinétique de cette région.

Physiopathologie des anomalies transitionnelles.

Bertolotti et Rossi furent parmi les premiers à attirer l'attention sur le rôle pathologique des variations transitionnelles.

La sacralisation douloureuse n'est pas en elle-même la source des troubles, mais elle les provoque sans doute par les altérations dont elle s'accompagne.

Parmi ces modifications figurent l'arthrose de l'articulation néoformée, les bursites, les périostites, les troubles statiques.

De Sèze et Saloff ont consacré une étude particulièrement poussée à ces problèmes ; ils présentent une explication des phénomènes douloureux qui s'intègrent dans le cadre d'une conception personnelle de la physiologie de la charnière lombo-sacrée. Selon eux, la V^e vertèbre lombaire est située toute entière au-dessus de la ligne bi-iliaque, elle s'encastre entre les deux ailes iliaques auxquelles elle est attachée de court par les solides ligaments ilio-lombaires.

Cet encastrement de la V^e vertèbre lombaire normale complétée par les ligaments ilio-lombaires aurait pour effet de limiter la mobilité de cette vertèbre.

Dans la flexion en avant, la bascule de L5 en avant est arrêtée avant que la limite d'élasticité du disque soit atteinte, par la mise en tension des ligaments ilio-lombaires, en raison de leur direction oblique en dehors et en haut. Dans ce mouvement, la participation du disque L5-S1, en dépit de sa situation de disque charnière, serait légèrement moins importante que celle du disque L4-L5. Mais c'est dans la flexion latérale du rachis que s'exercerait avec le plus d'efficacité le freinage des ligaments ilio-lombaires sur la mobilité de L5 encastree.

Le mouvement de bascule latéral de L5 est presque immédiatement bloqué par la mise en tension des ligaments ilio-lombaires. C'est pourquoi la V^e vertèbre lombaire ne participerait que très peu aux mouvements de flexion latérale du rachis.

Donc, du fait de sa situation basse, de son encastrement entre les ailes iliaques, de son amarrage par les ligaments ilio-lombaires, la V^e vertèbre lombaire, vertèbre pivot de la charnière lombo-sacrée normale, voit ses principaux mouvements partiellement freinés.

Au contraire, la vertèbre sus-jacente, c'est-à-dire la quatrième vertèbre lombaire, est située toute entière au-dessus de la ligne bi-iliaque. Elle est complètement dégagée des crêtes iliaques auxquelles elle n'est rattachée que de loin par un ligament long et mince, oblique en dehors et en bas, plus ou moins artificiellement isolé aux dépens de l'aponévrose du carré des lombes. Ces fantômes de ligaments ne sauraient limiter la mobilité de la quatrième vertèbre lombaire.

Entre le sacrum, pièce fixe de la cinquième vertèbre lombaire, pièce mobile, se trouve intercalée la V^e vertèbre lombaire qui est une pièce mixte. La charnière lombo-sacrée comporte dans les conditions normales deux disques charnières entre lesquels les efforts seraient harmonieusement répartis.

Dans le cas d'une charnière lombo-sacrée modifiée par une anomalie transitionnelle, la place ménagée entre les deux crêtes iliaques est occupée par la pièce transitionnelle qui, d'un côté au moins, est soudée au sacrum. La vertèbre sus-jacente, qui est la dernière vertèbre indépendante et par conséquent la vertèbre pivot, occuperait une situation haute dégagée des ailes iliaques.

Elle n'est pas encastrée et n'est rattachée aux crêtes iliaques que par des ligaments ilio-lombaires longs et minces, obliques en dehors et en haut, incapables d'exercer le moindre freinage sur la mobilité de cette vertèbre.

Selon de Sèze et Saloff, aucun système ligamentaire ne viendrait ici freiner la mobilité de la vertèbre pivot.

Il y aurait alors passage direct et sans intermédiaire d'une pièce fixe à une pièce mobile. A la jonction de cette pièce fixe et de cette pièce mobile le disque charnière serait soumis à un véritable surmenage fonctionnel. Celui-ci aurait pour conséquence une prédisposition élective du disque à l'égard de toutes les lésions dégénératives traumatiques ou micro-traumatiques qui constituent le fond de la pathologie vertébrale douloureuse.

Déterminisme de la courbure lombaire.

L'augmentation numérique des éléments de la colonne lombaire associée à la projection à la verticale de la partie supé-

rière du tronc a pour effet d'augmenter la hauteur du rachis lombaire et de l'enrouler en arrière.

Ce phénomène entraîne l'apparition d'une courbure caractéristique, mais d'amplitude variable, la courbure lombaire.

Le rachis lombaire représenterait dans les conditions normales environ 32 % de la longueur totale du rachis.

Mais l'augmentation du nombre des vertèbres chez l'homme ne suffit pas à expliquer la constitution de la courbure lombaire, puisque les singes quadrumanes présentent les mêmes caractéristiques numériques. Il convient donc d'envisager le rôle de la morphologie vertébrale.

Les corps vertébraux présentent des faces supérieures et inférieures légèrement inclinées vers le haut en bas soit d'avant en arrière, soit d'arrière en avant, ce qui leur donne sur une coupe sagittale une forme de coin d'autant plus marquée que la vertèbre est plus près d'un sommet de courbure.

Il devient possible d'apprécier la participation des vertèbres à la constitution des courbures en mesurant leur hauteur en avant et en arrière sur la ligne médiane du corps vertébral.

Le rapport entre les deux hauteurs antérieure et postérieure en fournit la valeur numérique, cet indice a été proposé par Cunningham. Lorsque l'indice est supérieur à 100, le corps vertébral est plus élevé en arrière, lorsque l'indice est inférieur à 100, il est plus élevé en avant.

L'indice lombaire total regroupe ses valeurs pour les cinq vertèbres lombaires considérées dans leur ensemble. Les rachis peuvent alors être classés en trois groupes :

Convexe en avant (Cyrtorachiques), indice jusqu'à 97.9.

Rectiligne (Orthorachiques), indice jusqu'à 101.9.

Concave en avant (Cœlorachiques), indice au delà de 102.

Il était intéressant de comparer de cette façon les différentes races humaines. Vallois constate ainsi que chez les hommes du paléolithique, le rachis lombaire était concave en avant, que cette disposition se retrouvait actuellement dans certaines races humaines dites primitives tels les Boshimans et les Ottentots, objet de la thèse de G. Duparc ; Hasebe, étudiant le rachis lombaire du Japonais par cette méthode, la trouve rectiligne ; enfin la plupart des auteurs notent dans leurs conclusions que le rachis lombaire des races européennes présente une convexité antérieure.

De telles études qui ne portent que sur les pièces osseuses sont forcément incomplètes, car elles sont obligées de négliger le rôle des disques intervertébraux ; or ceux-ci, par les importantes variations purement morphologiques, interviennent également dans la constitution de cette courbure lombaire.

Weber et Weber ont montré que la somme de la hauteur des faces antérieures des corps vertébraux lombaires était chez un sujet supérieure de 6,7 mm à celle des faces postérieures. Cette différence s'élevait à 21,1 mm lorsque les hauteurs discales intervenaient dans ce calcul.

Si, au lieu d'envisager uniquement l'indice lombaire total, on étudie séparément l'indice de chaque vertèbre lombaire, il est possible d'envisager le lieu de formation de la courbure lombaire.

En effet la première vertèbre lombaire est presque toujours cœlorachique, la seconde et la troisième sont généralement orthorachiques, par contre les variations se rencontrent habituellement au niveau de la quatrième et de la cinquième vertèbres lombaires. Vallois et Lazorthes notent que l'indice décroît de la première à la cinquième vertèbre lombaire et situent le sommet de courbure au niveau de L 2-L 3.

C'est dans cette région qu'une convexité antérieure se substitue à la concavité de la région dorsale. Leurs séries comportent une différenciation sexuelle en ce sens que les hommes y ont un rachis rectiligne alors que les femmes y présentent une lordose nette. Reprenant les travaux de Rouvière et Delon, ils insistent sur la forme en coin à base antérieure du disque lombo-sacré. Le point le plus intéressant de cette étude étant d'ailleurs qu'il n'y a aucun parallélisme entre l'indice des disques et l'indice vertébral ; c'est peut-être autant à la forme du disque qu'à la forme des vertèbres qu'il convient de rapporter cette courbure lombaire.

Etude du couple lombo-sacré.

Des recherches personnelles faites sous la direction du Professeur A. Delmas nous ont conduit à des conclusions légèrement différentes. Notre étude a porté sur 106 sujets provenant du Laboratoire des Travaux Anatomiques. L'âge

moyen de ces sujets était de 64 ans, cette série comportait 40 femmes et 66 hommes. Les conditions de recrutement ne nous ont pas permis d'établir de statistique en rapport avec l'âge.

Nos mensurations ont été effectuées sur le sujet installé en position ventrale et l'abord a été le même qu'au cours des interventions pour hernie discale.

Nous avons mesuré dans cette position les hauteurs antérieure et postérieure de la V^e vertèbre lombaire et du disque lombo-sacré. Un certain nombre de sujets ont dû être rejetés en raison du processus pathologique relativement fréquent dans cette région. Ils ne figurent évidemment pas dans cette série. La valeur de ces mensurations tient à ce qu'elles ont été effectuées sur les pièces maintenues en place. Il n'en reste pas moins que nous ne pouvons tenir compte de la déshydratation post-mortem du disque qui diminue probablement sa hauteur de façon appréciable. Ce facteur peut cependant être négligé, puisqu'il s'agit avant tout d'une étude comparative et que nous tenons essentiellement compte des valeurs relatives et non pas des valeurs absolues.

Enfin nous nous sommes limités à l'étude de la V^e vertèbre lombaire et du disque lombo-sacré, car les recherches des auteurs précédemment cités nous avaient montré la constance ou du moins l'absence de variation en ce qui concerne les vertèbres sus-jacentes : tout se passerait, semble-t-il, au niveau de la vertèbre transitionnelle.

L'étude statistique nous a montré que l'indice vertébral moyen féminin est de 79,8 ; que l'indice masculin est de 84,8 ; ce qui donne pour l'ensemble des 101 cas un indice moyen de 82,3.

Dans ces conditions, la V^e vertèbre lombaire de la femme serait plus cunéiforme que celle de l'homme, ceci entraînant une lordose lombaire plus marquée dans le sexe féminin. Le mode (22 % des cas) est situé entre 80 et 90 ; l'ensemble des sujets examinés présente donc un rachis lombaire nettement convexe en avant.

La déviation standard étant de 1,64, il en résulte, d'après les calculs statistiques, que toute V^e vertèbre lombaire d'indice compris entre 58 et 106 apparaît comme faisant partie des fluctuations de la moyenne.

De la sorte, un certain nombre de rachis lombaires rectilignes ou même convexes en avant, observés dans notre série, peuvent être considérés comme normaux et ne relevant pas de processus pathologique.

Nous avons rencontré au-dessous de la valeur indexielle de 58, 3 cas et au-dessus de 106, 16 cas.

Un certain nombre de nos sujets apparaissent nettement cœlorachiques.

Ceci s'oppose aux résultats de Vallois et Lazorthes.

Une explication peut être envisagée en considérant que nos séries n'ont certainement pas les mêmes origines raciales que celles des auteurs précédents, dont les sujets provenaient du bassin méditerranéen.

Le tableau suivant montre la proportion de nos cas :

Cyrtorachie :

Hommes	53 cas	50 %
Femmes	33 cas	31 %

Orthérachie :

Hommes	4 cas	3,7 %
Femmes	2 cas	1,9 %

Cœlorachie :

Hommes	9 cas	8,5 %
Femmes	5 cas	4,7 %

Total	106 cas	
-------------	---------	--

Les mêmes recherches ont été effectuées au niveau du disque lombo-sacré.

Il présente une hauteur antérieure nettement plus élevée que sa hauteur postérieure, ce qui se traduit par un indice de 44,9 chez la femme et de 40,9 chez l'homme.

Le disque masculin semble plus cunéiforme que le disque féminin, ce qui est l'inverse de l'indice vertébral, comme nous l'avions constaté précédemment.

Si l'on fait la corrélation entre la hauteur discale antérieure et la hauteur discale postérieure, le nuage de corrélation peut se décomposer en deux autres nuages correspondant aux deux polygones bimodaux.

Chacun de ces deux nuages donne une corrélation nulle avec la hauteur discale postérieure.

Cette corrélation peut être expliquée par le déplacement du point moyen des deux nuages. La courbe de répartition des hauteurs discales antérieures laisse apparaître une particularité qu'il faut discuter. Il ne s'agit pas, comme pour les autres mensurations, d'une courbe de Gauss, unimodale, mais d'une courbe manifestement bimodale et vérifiée statistiquement comme telle.

Elle montre l'existence de deux fréquences sensiblement égales : l'une de disques de faible hauteur, variant de 14 à 16 mm, l'autre de disques de grande hauteur variant de 18 à 21 mm. Il existerait ainsi deux familles discales très nettement séparées. Cette notion pourrait être rapprochée de l'existence de deux types de courbure vertébrale que distingue A. Delmas : les rachis convexes et les rachis rectilignes.

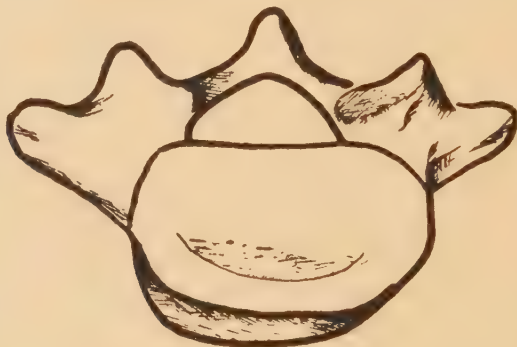


FIG. 1. — V^e lombaire statique.

Le calcul de la déviation standard de l'indice discal montre que tous les disques dont l'indice est compris entre 13 et 65 peuvent être considérés comme normaux. Douze cas présentant un indice supérieur à 65 et huit cas ayant un indice inférieur à treize auraient subi une modification de leur forme en raison de processus qui nous échappent.

INDICE DISCAL

— 15	15 à 24,9	25 à 34,9	35 à 44,9	45 à 54,9	55 à 64,9	65 et +
8	11	25	30	14	6	12

Nous avons ensuite calculé l'indice de Cunningham tenant compte de l'addition des hauteurs vertébradisciales antérieure et postérieure. Il reflète la part prise par le disque et la vertèbre associée dans la formation de la courbure.



FIG. 2. — V^e lombaire cinétique.

L'indice moyen est de $67,54 \pm 1,7$, de telle sorte que le couple disco-vertébral normal a un indice compris entre 30 et 99. Le mode qui représente 23 cas coïncide avec la moyenne. Il apparaît que le couple disco-vertébral est toujours cyrtorachique. Les couples cœlo ou orthorachiques seraient dus à des facteurs pathologiques.

INDICE DE CUNNINGHAM COMBINÉ

30 à 39,9	40 à 49,9	50 à 59,9	60 à 69,9	70 à 79,9	80 à 89,9	90 à 99,9	100 et +
2	10	21	23	24	10	6	4

Ses recherches montrent que la V^e vertèbre lombaire et le disque lombo-sacré forment un ensemble qu'on ne saurait dissocier du point de vue de la statique vertébrale.

Si la vertèbre est le plus souvent cunéiforme chez la femme, chez l'homme c'est le disque ; il existerait ainsi une différence sexuelle évidente. La courbure lombaire plus fixe chez la

femme y serait un phénomène essentiellement osseux. Chez l'homme, elle relèverait en général du disque, faisant ainsi envisager un mode d'élasticité peut-être variable.

Dans une seconde série de recherches, nous avons essayé de déterminer l'importance relative du couple disco-vertébral lombo-sacré dans la constitution de la courbure lombaire.

Ces deux éléments sont très étroitement liés, mais il semble cependant que c'est tantôt l'un, tantôt l'autre qui a la part prépondérante dans la constitution de la courbure. Nous avons vu précédemment que la convexité antérieure du rachis lombaire semblait être un phénomène beaucoup plus discal que vertébral, cette différenciation apparaissant avec plus de netteté chez l'homme que chez la femme.

Il était alors utile de calculer par un nouvel indice les variations corrélatives du disque et de la vertèbre.

Cet indice disco-vertébral s'exprime par la formule suivante :

$$\frac{\text{Indice de Cunningham discal} \times 100}{\text{Indice de Cunningham vertébral}}$$

Lorsque l'indice est égal à 100, la vertèbre et le disque sous-jacent ont la même forme.

Lorsque l'indice s'abaisse, le disque lombo-sacré présente une cunéiformité plus accentuée que celle de la vertèbre ; un indice égal à 50 traduit le fait que le disque est deux fois plus cunéiforme que la vertèbre qui lui correspond.

Sur les 106 cas que nous avons examinés, l'indice moyen était de 62,5. Le calcul de la déviation standard donne une variation d'amplitude autour de la moyenne qui nous permet de considérer comme normal tout indice pour lequel le disque a une cunéiformité deux fois plus accentuée, ou bien ne différant de la forme de la vertèbre que par une cunéiformité de 1/5.

Ce tableau résume la répartition de nos observations.

30 à 49 Disque ultra- cunéif.	40 à 49 Disques ultra- et hyper- cunéif.	50 à 69 Disque cunéif.	70 à 79 Disque faiblement cunéif. hypo.	80 à 89 et + Disques cunéif. vrai
1	4 ultra 3 hyper	60	17	10

Le calcul de l'écart sigmatique permet d'éliminer aux deux extrémités de la courbe de répartition les cinq cas ultra-cunéiformes et les dix cas sous-cunéiformes dont la morphologie par rapport à la vertèbre paraît relever d'autres facteurs que de ceux de la variabilité normale. Du point de vue de la répartition par sexe, elle est sensiblement identique, il existe cependant une tendance à une sous-cunéiformité plus marquée dans le sexe féminin. Ceci confirme nos constatations précédentes : chez la femme l'allure de la courbure est plus en rapport avec la forme de la vertèbre qu'avec celle du disque.

Il convenait ensuite d'envisager l'importance de la morphologie discale dans la courbure lombaire.

A. Delmas a montré que le rapport de la hauteur à la longueur d'un rachis mesuré sur sa face antérieure permettait de donner une valeur chiffrée à l'accentuation des courbures sagittales de la totalité de la colonne rachidienne ou d'un segment de celle-ci.

Les colonnes peuvent se calculer en trois types principaux.

Celles dont la courbure est accentuée ont un indice inférieur à 94, celles dont la courbure est de valeur moyenne ont un indice entre 94 et 96, enfin celles ayant un indice entre 96,5 et 100, qui ont une courbure effacée, puisque leur hauteur et leur longueur sont à peu près identiques.

Le tableau suivant, résumant l'ensemble des cas, montre que la proportion des colonnes rectilignes ou faiblement convexes et la proportion des colonnes courbes n'est pas la même suivant les différentes classes d'indice disco-vertébral.

	40 à 49 Disque ultra- et hyper- cunéif.	50 à 69 Disques cunéif.	70 à 79 Disques hypo- cunéif.	80 à 89 et + sous-cunéif.
Indice + 94 ..	7	39	7	8
Indice 94 et + .	5	9	4	3
Total	12	48	11	11=81

Ainsi, lorsque le disque est ultra-cunéiforme, une colonne sur deux est rectiligne, une colonne sur deux étant fortement convexe. Lorsque l'indice est cunéiforme, le nombre de colonnes rectilignes comprend les $\frac{3}{4}$ des cas, $\frac{1}{4}$ seulement étant fortement concave, mais lorsque le disque devient sous-cunéiforme et tend vers l'hypocunéiformité, ce chiffre s'abaisse légèrement aux $\frac{2}{3}$. Tout se passe donc comme si la cunéiformité modale du disque par rapport à celle de la vertèbre s'accompagnait d'une faible accentuation de la courbure lombaire.

La tendance au contraire à l'ultra-cunéiformité marche de pair avec une courbure accentuée. La faible cunéiformité pourrait jouer un rôle analogue.

Signalons que ces données avaient déjà été envisagées par les travaux de Charpy. Mais aucune vérification statistique n'en avait été fournie.

Nous nous proposons de rechercher maintenant s'il existe un rapport entre l'indice que nous venons de définir et le sommet de la courbure lombaire.

L'accentuation de la courbure lombaire peut être indépendante du sommet de cette courbure, quoique les deux phénomènes soient relativement liés.

Sur la série envisagée avec A. Delmas et R. Raou, nous avons établi la répartition des sommets de courbure par indice.

Ceci nous a donné les résultats qui sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU I

Sommet de courbure	L 1/2	L 2	L 2/3	L 3	L 3/4	L 4	L 4/5	Remarques
Indices 40 à 49 .			1	2	5	3	1	Tendance sommet haut
Indices 50 à 59 .					2	6	3	Tendance sommet bas
Indices 60 à 69 .	1		1	3	12	2	3	Tendance sommet haut
Indices 70 à 79 .		1	1	3	8	6	6	Tendance sommet bas
Indices 80 à 89 .				1	5	5	1	Tendance sommet bas
Total	1	1	3	8	32	22	14	

Il ressort du tableau I que le disque L 3-L 4 est le plus souvent au sommet de la courbure, mais ce sommet se localise avec une égale fréquence au niveau de L 4 et de L 4-L 5.

En contradiction avec l'affirmation de Charpy, qui localisait de façon à peu près constante le sommet d'une courbure en regard d'un disque, il semble que ce sommet puisse également siéger au niveau d'un corps vertébral.

En comparant par un tableau à double entrée, les sommets de courbure et les indices disco-vertébraux, il apparaît que dans les cas de forte cunéiformité le sommet de la courbure lombaire est bas situé. Dans les cas de cunéiformité modale, il est rejeté vers les étages supérieurs et finalement dans les cas de faible cunéiformité, le sommet de la courbure apparaît très variable ; il est tantôt haut, tantôt bas comme si sa localisation ne dépendait plus du disque lombo-sacré, mais des disques sus-jacents.

Si nous voulions résumer cette étude, nous noterions tout d'abord l'importance considérable du risque par rapport à

la vertèbre dans la morphologie de la charnière lombo-sacrée. C'est ensuite la modification de la courbure lombaire et de la localisation de son sommet selon la hauteur de ce disque.

On voit ainsi l'importance du point de vue de la statique et de la cinétique de la forme du disque et l'on conçoit les déséquilibres que toute modification de cette forme est susceptible d'entraîner par son retentissement sur l'ensemble du rachis lombaire.

Le rôle du socle sacré dans les variations de la courbure lombaire.

Nous n'avons jusqu'à maintenant fait qu'envisager la V^e vertèbre lombaire elle-même et le disque lombosacré.

Il convient d'étudier maintenant le troisième élément de cette charnière, représenté par le sacrum ou plus exactement par la première vertèbre sacrée.

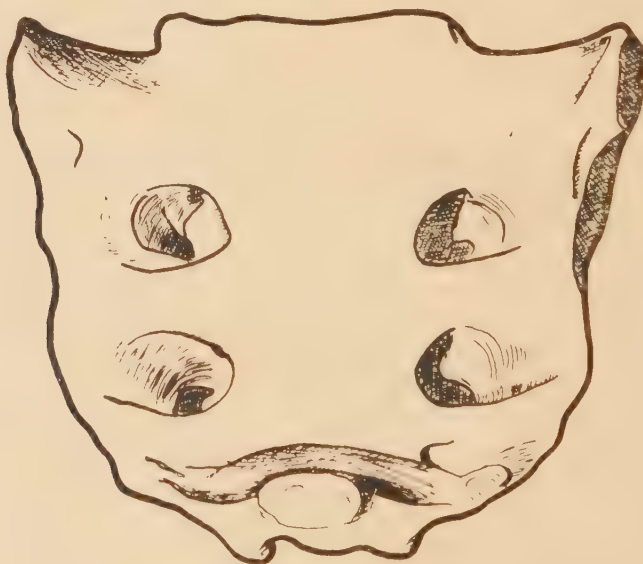


FIG. 3. — Sacrum homobasal.

L'apparition chez l'homme d'une fonction locomotrice entièrement dévolue aux extrémités inférieures est en rapport avec le redressement de la colonne vertébrale dont la position presque horizontale se change en position presque verticale.

Le poids de toute la partie supérieure du corps portait sur les extrémités inférieures par l'intermédiaire de l'os sacré, qui se transforme en s'adaptant à ses nouvelles conditions mécaniques.

La caractéristique majeure de la locomotion bipédique est donc un redressement définitif du squelette du tronc suivi du redressement simultané des articulations du bassin et des genoux.

La charnière lombo-sacrée apparaît ainsi comme une des régions les plus caractéristiques de l'espèce humaine au même titre que le crâne. On comprend que nulle partie du squelette n'ait été mieux étudiée, mesurée, comparée et décrite.

En 1908, Radlauer publia un travail littéralement exhaustif sur le sacrum. Il étudia l'os sacré au point de vue de son ontogénèse, de sa phylogénèse, sa longueur, sa largeur absolue et relative, sa forme, ses relations avec les os iliaques, les rapports des masses latérales avec les corps vertébraux, la formation du canal sacré, etc... La plus grande partie de son travail est consacrée à la mesure des différentes portions du sacrum et à leur rapport réciproque ; les mensurations ont été effectuées dans 27 directions différentes.

Et pourtant, il lui a été impossible de définir avec exactitude les principales caractéristiques du sacrum de l'homme. Speransky, dans une étude critique du travail de Radlauer montre que l'étude de l'os sacré de l'homme ne peut se réaliser qu'en considérant la morphologie du sacrum relativement à sa fonction.

La caractéristique essentielle qui seule peut servir de fil d'Ariane est représentée par le redressement de la colonne vertébrale, clé de la locomotion bipédique. Ce mouvement n'est pas la simple rotation de la colonne vertébrale toute entière autour de l'axe unissant les deux articulations sacro-iliaques. Ce changement de position s'est également accompagné d'une modification des articulations coxo-fémorales et fémoro-tibiales, aboutissant à la création d'une colonne osseuse rectiligne soutenant le corps par en bas.

Ce mouvement est donc totalement différent de celui que l'on observe chez un cheval qui se cabre par exemple.

C'est pourquoi il a abouti à la création d'une courbure vertébrale supplémentaire : la lordose lombaire.

Le redressement s'est localisé dans l'endroit le plus proche de celui qui devint le plus immobile, c'est-à-dire dans la région sacro-lombaire. Il se forma ainsi une courbure avec saillie en avant et brisure à la limite des parties libre et fixe. Ainsi se constitua le promontoire.

D'emblée, signalons que ce redressement n'a pas porté sur la totalité du sacrum, mais seulement sur sa partie supérieure. Ainsi se trouve justifié, à notre avis, l'isolement en tant qu'élément fonctionnel de la première vertèbre sacrée.



FIG. 4. — Sacrum hypobasal.

Dans son étude sur le sacrum de l'homme, Radlauer proposait de diviser toutes les formes connues en trois classes en tenant compte des rapports topographiques des ailerons vis-à-vis de la base du sacrum. Il montra que le milieu de cette base, formée par le corps de la première vertèbre sacrée et la face supérieure des ailerons où aboutissent les auricules se trouvent à des niveaux différents.

Dans certains cas, le bord proximal de la surface auriculaire se trouve plus bas situé que la base du sacrum, il s'agit alors, selon la terminologie de Radlauer, d'un sacrum hypobasal.

Dans d'autres cas, le bord proximal de la surface auriculaire et la base du sacrum se trouvent au même niveau : il s'agit alors d'un sacrum homobasal.

Enfin, dernière éventualité, le bord proximal de la surface auriculaire se trouve au-dessus de la base du sacrum, le sacrum est dit hyperbasal.

Il existerait différents degrés d'hypobasalité et celle-ci pourrait être primaire ou secondaire. Il est étonnant de constater que Radlauer ne tira aucune conclusion physiologique de ce démembrement.

Et pourtant, dès 1873, H. Meyer rapportait la fusion de la dernière vertèbre lombaire et du sacrum, au poids qui pèse sur le sacrum.

Speransky considère que la différence de formes entre les sacrums de ces trois groupes dépend principalement de la part que prend la première vertèbre dans la formation du sacrum.

Quand le corps de la première vertèbre lombaire, dans les sacrums hypobasaux, fait une saillie accentuée au-dessus de la base, on peut y voir un exemple de vertèbre transitionnelle qui, tout en contribuant à la formation des masses latérales, a conservé au niveau de son corps une certaine autonomie.

Son assimilation par le sacrum n'est pas encore définitive.

Le stade suivant d'une telle assimilation est représenté par l'homobasalité que l'on peut comparer à un enfoncement du corps vertébral jusqu'au niveau des ailerons. Cet enfoncement peut être expliqué par le poids de la colonne vertébrale qui pèse sur le sacrum surtout dans les régions des corps.

L'hyperbasalité enfin représenterait le stade ultime de ce processus d'enfoncement.

Cette notion de basalité semble donc d'un très grand intérêt. Speransky, reniant la définition de Radlauer, propose une formule personnelle à vrai dire plus facilement utilisable.

Les sacrums homobasaux sont ceux chez lesquels le bout latéral de la ligne innommée se trouve au milieu du corps de la première vertèbre sacrée.

Deux critiques peuvent cependant être adressées à ce travail.

Speransky, pas plus que Radlauer, ne fournissent à aucun moment de définition parfaitement valable de la basalité.

Elle reste une notion sinon subjective, du moins un critère dont il était impossible de donner une valeur nette par mensurations par exemple. Et pourtant, à côté des trois classes principales, il existe d'importantes variations qu'il pourrait être utile de contrôler et de mesurer. Speransky s'en était parfaitement rendu compte et avait été amené à différencier des hypobasalités primaire et secondaire. Il reconnaissait lui-même que le critère qu'il utilisait, c'est-à-dire la ligne innominée, est très souvent difficile à préciser avec exactitude.

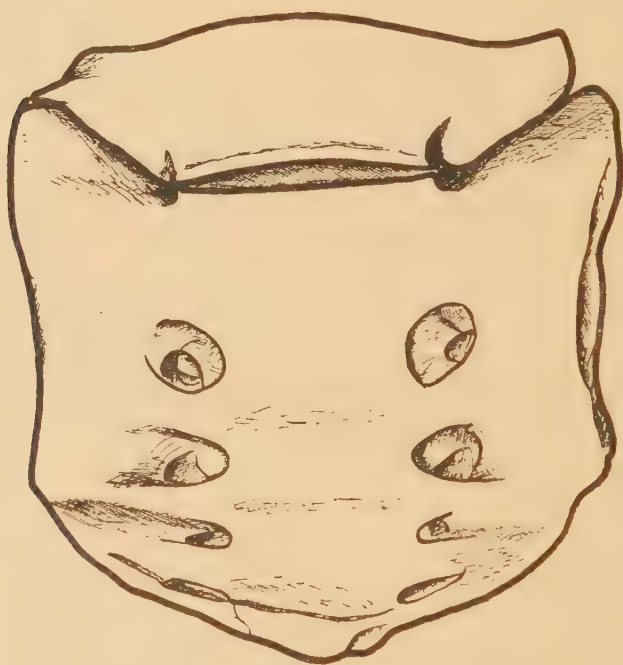


FIG. 5. — Charnière lombo-sacrée reportée à L4-L5.

La seconde critique est qu'il n'a extrait de ce travail qu'une conclusion sur les différents modes d'adaptation fonctionnelle que représentent ces différents types sacrés.

Et pourtant, la première vertèbre sacrée et ses masses latérales ont un rôle physiologique considérable. La direction de la face supérieure de l'aile sacrale représente l'orientation de la portion supérieure de l'auricule.

A. Delmas avait, dès 1950, insisté sur les différents types d'articulations sacro-iliaques et sur leur rôle dans les différents modes de station.

D'autre part, la première vertèbre sacrée représente en outre le point d'impact de toutes les pressions transmises le long de la colonne antérieure du rachis, le point où celles-ci vont diffuser vers le bassin pour gagner les membres inférieurs.

Nous avons vu dans l'étude embryologique que les masses latérales du sacrum ne pouvaient en aucun cas être confondues avec un simple processus costal, mais que le centre alaire à partir duquel elles se formaient avait une signification mécanique très particulière.

Le troisième point est que la hauteur du corps de la première vertèbre sacrée est généralement beaucoup plus haute en avant qu'en arrière : cette vertèbre forme ainsi à sa face supérieure une sorte de socle, un véritable support pour la portion libre de la colonne vertébrale, c'est le promontoire.

De même que nous avons étudié le rapport de la hauteur de la face antérieure à la face postérieure de la cinquième vertèbre lombaire, les arguments précédents justifiaient une étude isolée de la première vertèbre sacrée et le calcul à son niveau de l'indice de Cunningham.

Une telle étude n'avait jamais été réalisée par aucun auteur, ni Radlauer, ni Speransky, ni Martin n'y avaient songé.

Le calcul de cet indice, sous la direction de A. Delmas, s'est trouvé être en rapport constant avec la stabilité de chaque sacrum étudié.

Il semble donc qu'il existe là une technique simple de mesure de la basalité et de classification des sacrum. Cette mesure nous permettra de déterminer le rôle du socle sacré dans la formation de la courbure lombaire.

Ces recherches ont porté sur 105 rachis secs de la collection du Laboratoire de Travaux anatomiques. Les hauteurs ont été mesurées très facilement sur la face antérieure et sans grande difficulté à la face postérieure dans la limite inférieure et toujours précisable en ce qui concerne le corps de la première vertèbre sacrée.

Nous avons observé 85 rachis de type hypobasal et 30 rachis de type homobasal.

Les premières vertèbres sacrées dont l'indice était bas sont par conséquent très cunéiformes, autrement dit elles présentent un promontoire très marqué. Correspondant à un sacrum hypobasal, leurs indices s'échelonnaient entre 62 et 92, soit un indice moyen de 78 avec une déviation standard de 1,7.

Les premières vertèbres sacrées, dont l'indice était voisin de 100, présentaient une face postérieure ayant sensiblement la même hauteur que la face antérieure. Correspondant à des sacrum homobasaux, leurs indices s'évaluaient de 92 à 100 avec un coefficient de variabilité de 0,25.

Les conclusions sont les suivantes :

L'hypobasalité sacrée se caractérise par la forme en coin à base antérieure de la première vertèbre sacrée.

Cette conformation a été retrouvée sur 85 rachis.

Le coin que forme la première vertèbre sacrée étant plus ou moins accentué, il nous est possible de différencier et de chiffrer trois degrés :

- Hypobasalité forte ou du premier degré :
indice de 62 à 71 (19 rachis).
- Hypobasalité moyenne ou du second degré :
indice de 72 à 81 (33 rachis).
- Hypobasalité faible ou de troisième degré :
indice de 82 à 92 (33 rachis).

L'homobasalité sacrée se caractérise par la hauteur égale des faces antérieure et postérieure de la première vertèbre sacrée. Autrement dit, cette dernière ne fait plus de saillie, elle n'est cependant pas enclavée.

L'homobasalité ne présente pas par définition de degré, puisqu'elle signifie que les ailerons sacrés et le plateau sacré se trouvent sur le même plan. Nous avons trouvé 16 sacrum répondant à ce type.

L'hyperbasalité sacrée a toujours été très peu marquée dans notre série, notons d'ailleurs que Speransky avait déjà fait la même remarque ; elle se trouvait dans les 4 cas que nous avons observés aux confins de l'homobasalité. Ainsi la basalité sacrée apparaît comme un élément très important de la courbure lombaire. Elle peut même en être un élément déterminant lorsque la première vertèbre sacrée est très fortement convexe.

La charnière lombo-sacrée physiologique.

Elle vient de toute manière compléter le rôle du disque et de la cinquième vertèbre lombaire que nous avons envisagé précédemment.

Nous avons jusqu'à maintenant envisagé les trois éléments constitutifs de la charnière lombo-sacrée en les considérant surtout selon un plan sagittal. Nous avons vu quelle était la part prise dans le déterminisme de la courbure lombaire par la cinquième vertèbre lombaire, la première vertèbre sacrée et le disque lombo-sacré.

Nous voudrions maintenant considérer l'étude de ces éléments dans un plan frontal.

Lorsque l'on observe les plateaux des vertèbres lombaires, on constate qu'ils présentent un aspect renniforme dû au fait que leur diamètre transversal l'emporte sur le diamètre sagittal. La surface de ces corps semble croître de haut en bas jusqu'à la première vertèbre sacrée.

Un rachis lombaire examiné sur sa face antérieure a la forme d'un tronc de cône dont la grande base se localiserait en effet au niveau du sacrum. Le plateau sacré apparaît comme un véritable socle sur lequel repose le rachis mobile.

Ce sont là des données très classiques.

Ce qui est assez mal connu, c'est la localisation exacte du socle, qui n'est pas toujours situé, comme l'affirment les données classiques, au niveau du plateau sacré. Selon les traités d'anatomie, le diamètre transversal de la face supérieure de L5 serait toujours de valeur inférieure au diamètre transversal de la face inférieure de cette vertèbre.

Le diamètre transversal du plateau sacré serait sensiblement égal ou supérieur au diamètre transversal de la face inférieure de L5. La caractéristique du socle sacré envisagée dans le plan frontal serait une décroissance de ce diamètre qui s'exprime dans le fait que le sacrum est plus large à son extrémité supérieure qu'à son extrémité inférieure.

Cette décroissance, qui est une des caractéristiques morphologiques du sacrum, s'amorce dès la première vertèbre sacrée.

Or, ce caractère typiquement sacré, nous l'avons retrouvé au cours de nos recherches, au niveau de la cinquième vertèbre

lombaire. Avec A. Delmas, nous avons constaté qu'en dehors de toute malformation pathologique, à l'exclusion même de toute anomalie transitionnelle, il existait un certain nombre de vertèbres lombaires qui présentaient dans le plan frontal des caractéristiques sacrées : c'est-à-dire, dont le diamètre transversal de la face supérieure était plus grand que le diamètre transversal de la face inférieure.

Nous avons donc repris l'étude des diamètres transversaux et sagittaux, afin d'essayer de comprendre ces processus. Nous avons d'autre part essayé de voir si ces phénomènes présentaient un certain rapport avec la basalité sacrée que nous avons précédemment définie.

Les 105 rachis que nous avons étudiés précédemment ont servi de base à ces nouvelles observations.

Les résultats précédents nous ont permis de les séparer en rachis à sacrum homobasal d'une part, en rachis à sacrum hypobasal d'autre part. Ces derniers ont été subdivisés en trois groupes selon que l'hypobasalité pouvait être considérée d'après les définitions précédentes comme étant de premier, deuxième ou de troisième ordre.

Les diamètres sagittal maximum et transversal maximum ont été mesurés successivement au niveau des faces supérieure et inférieure de la cinquième vertèbre lombaire, puis au niveau de la face supérieure de la première vertèbre sacrée. Nous avons ensuite déterminé la valeur moyenne de ces différents diamètres afin de les comparer pour chacun des groupes. Les résultats n'avaient, a priori, pas de valeur significative, car ces chiffres ne tenaient pas compte de la surface vertébrale qui seule aboutit finalement à la forme générale de la vertèbre.

Il était donc nécessaire d'une part de faire entrer en ligne de compte la surface vertébrale, d'autre part d'éliminer un certain nombre de facteurs tels que la taille, l'âge, voire certains processus dégénératifs à la limite du pathologique. Ceci n'était possible que d'une seule manière en calculant un indice qui aboutirait à l'élimination de tous ces facteurs.

C'est pourquoi nous avons proposé l'indice suivant :

D S représente le diamètre sagittal maximum, et D T le diamètre transversal maximum.

Nous avons ainsi calculé les indices des surfaces de chaque pièce (face supérieure de L 5, face inférieure de L 5, face supérieure du sacrum). Puis nous en avons déterminé la moyenne pour chacun des quatre groupes isolés d'après leurs types de basalité (homobasaux, hypobasaux de premier ordre, de deuxième ordre, de troisième ordre).

Ces résultats nous ont permis de localiser à quel niveau exact se trouvait le socle sur lequel repose la colonne lombaire, ils nous ont montré que ce socle pouvait être constitué dans un certain nombre de cas par la face supérieure de la cinquième vertèbre lombaire.

Rachis hypobasaux Indices moyens			Rachis hypobasaux Indices moyens		
Plateau sacré	Face inf. L 5	Face sup. L 5	Plateau sacré	Face inf. L 5	Face sup. L 5
65	63	63			
			Hypo. 1 ^{er} ordre 62-71	61	64
			Hypo. 2 ^e ordre 72-81	61	65
			Hypo. 3 ^e ordre 82-92	59	64

La notion fondamentale qui ressort de ces recherches est que la charnière lombo-sacrée, au sens fonctionnel du terme évidemment, ne se trouve pas toujours à la jonction de la dernière vertèbre lombaire et de la première pièce sacrée.

La simple étude de la première vertèbre sacrée montre que ses caractères morphologiques sont très variables.

Ceci est apparemment assez étonnant pour une pièce osseuse dont le rôle est avant tout statique.

Nous avons déjà envisagé toutes les variations que pouvait présenter la cinquième vertèbre lombaire. Il s'agit donc d'une pièce intermédiaire dont la véritable dénomination devrait

être vertèbre sacro-lombaire, La dernière vertèbre lombaire et la première vertèbre sacrée sont des termes n'ayant qu'une valeur numérique et ne préjugant en aucun cas des caractéristiques fonctionnelles attenantes à la pièce envisagée. En dehors de ce que les termes de sacralisation et de lombalisation sous-entendent habituellement de pathologique, du point de vue physiologique, la première vertèbre sacrée peut se comporter comme une vertèbre lombaire et inversement, la dernière vertèbre lombaire peut avoir toutes les caractéristiques d'une vertèbre sacrée.

A notre avis, les processus de sacralisation et de lombalisation ne font que représenter les stades extrêmes de cette adaptation fonctionnelle. L'étude des anomalies transitionnelles confirment également que le processus de cranialisation de la première pièce indépendante du sacrum est étroitement en rapport avec la basalité sacrée.

Speransky avait déjà signalé ces faits, mais il s'était contenté de les intégrer dans une vaste théorie philogénétique.

Cette étude nous a montré que lorsque le sacrum est homobasal, l'indice est de 65 pour le plateau sacré et de 63 pour les faces inférieures et supérieures de L5.

Dans ces formes, le socle sur lequel repose la colonne lombaire est bien constitué par le plateau sacré.

Lorsque le sacrum est hypobasal, on note une accentuation progressive et inverse des indices. Comme le montre le tableau précédent.

Dans les trois degrés d'hypobasalité, c'est la face supérieure de L4 qui présente l'indice le plus élevé, autrement dit, c'est à ce niveau que nous devons localiser le socle sur lequel va s'appuyer le rachis lombaire.

Ces notions ont un intérêt non seulement pour discuter de la dynamique de cette région et pour déterminer à quel endroit va se localiser le maximum du mouvement selon les différents axes possibles. Ces problèmes ont d'ailleurs déjà été discutés par de Sèze et Saloff, qui leur avaient fourni une solution personnelle.

Mais du point de vue statique, ces faits sont également très importants ; selon les cas, le flux de charge transmis le long du rachis gagnera le bassin directement au niveau de L5, ou au contraire, par l'intermédiaire de l'aileron sacré qui prolonge la première vertèbre sacrée.

On peut facilement admettre que le passage direct des charges par une vertèbre lombaire qui n'y serait morphologiquement pas adaptée puisse être à l'origine de surcharge. C'est là sans doute l'une des multiples explications des phénomènes pathologiques si nombreux observés dans cette région

LES APOPHYSES DE L 5

ETUDE FONCTIONNELLE

Définition des axes.

Notre but n'a pas été de reprendre une description des caractères morphologiques des différentes apophyses de la cinquième vertèbre lombaire. Les traités d'anatomie, en fournissent des descriptions auxquelles il n'y a rien à ajouter aux variations, Ledouble les a déjà envisagées et il ne servirait de rien de rajouter à cette collection des malformations dont le seul intérêt est d'être exceptionnelles.

Envisageant l'étude de la cinquième lombaire d'un point de vue essentiellement fonctionnel, nous avons surtout voulu essayer de dégager les principaux critères physiologiques de ces apophyses. Nous espérons ainsi que ceci nous permettrait de mieux comprendre la physiologie de la région et nous ouvrir peut-être des perspectives nouvelles dans l'interprétation pathogénique d'une pathologie régionale si extraordinairement riche. Nous avons été conduit à essayer de mettre au point la technique qui nous permettrait de définir les axes fonctionnels des vertèbres lombaires.

L'importance de la détermination de ces axes n'est pas à commenter. Leur connaissance devrait nous permettre une meilleure compréhension de la mécanique vertébrale, une interprétation correcte de la morphologie rachidienne, une connaissance exacte de la valeur fonctionnelle de l'appareil musculaire et ligamenteux dont les lignes d'action seraient alors exactement précisées.

C'est de cette manière que les particularités vertébrales pourraient prendre une valeur indiscutable dans les domaines anatomique et pathologique.

La notion d'axe mécanique du rachis est cependant loin d'être claire : chaque vertèbre présente à la fois deux types

d'articulation, l'amphiarthrose des corps, la diarthrose des apophyses. Il devrait y avoir deux sortes d'axe correspondant à chacune de ces articulations si elles n'étaient solidaires.

Le disque intervertébral et le nucléus pulposus sont souvent considérés comme le centre des mouvements du rachis ; c'est le point de vue adopté en 1936 par H. Rouvière et L. Delon. Cependant Vallois puis Muller précisent bien que la direction

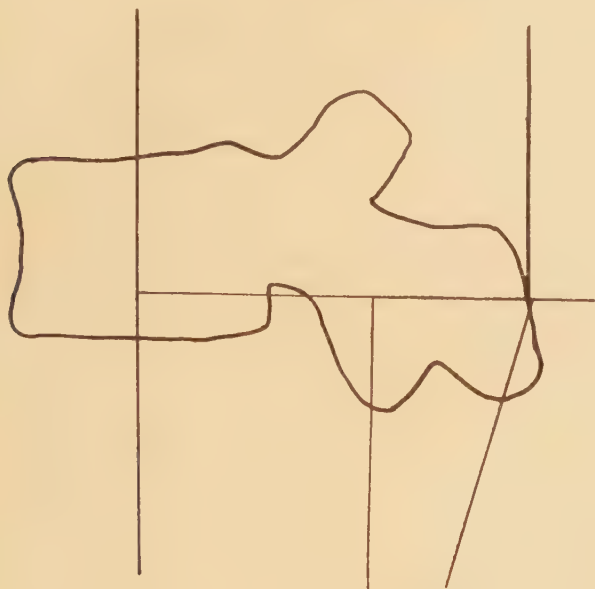


FIG. 6. — Etude selon l'orientation donnée par Slijper.

des mouvements dépend de l'orientation des apophyses articulaires et que seule leur amplitude est en rapport avec le disque intervertébral. Il est curieux de noter, malgré l'importance théorique et pratique de ce sujet, combien il reste vague et peu traité.

Un travail aussi considérable que celui de J. Slijper indique de façon extrêmement précise la valeur des constituants vertébraux, mais il ne précise pas les axes fonctionnels. Partant du fait que la colonne des corps est essentiellement la colonne statique et que le principe d'élément cinétique se trouve dans l'arc postérieur, J. Lacapère assimile le jeu d'une vertèbre par rapport à sa voisine à celui d'une clé d'un instrument à

vent. Il développe son idée de la façon suivante : une force agit sur une extrémité de la clé pour l'abaisser comme elle abaisserait le long bras d'un levier du premier genre ; l'autre extrémité ou tête s'écarte du fût de l'instrument et dès que la force cesse d'agir, est ramenée au contact de ce fût par un ressort de rappel.

Un liège ou un tampon plastique recouvre la tête et joue le rôle d'amortisseur en même temps qu'il obture un orifice de l'instrument. La tête de la clé peut être comparée au corps vertébral, le tampon plastique du disque, l'axe de la clé ou le point d'appui du levier est représenté par l'articulation inter-apophysaire, l'extrémité de la clé par l'apophyse épineuse et la force par les muscles.

Delon compare le nucléus à une rotule, mais en fait cette rotule est surtout un amortisseur au niveau du corps vertébral. En reprenant les figures classiques de Poirier, Delon avait déjà remarqué que dans les régions cervicale et lombaire, l'axe de rotation des vertèbres n'est en aucun cas situé en avant des apophyses articulaires, il ne peut absolument pas coïncider avec le centre du corps vertébral. Le nucléus même, si l'on admet sa position légèrement postérieure par rapport au centre vertébral, ne pourrait en aucun cas être confondu avec le centre de rotation.

L'orientation des apophyses articulaires détermine également les autres mouvements du rachis lombaire, à savoir la flexion, l'extension, l'inclinaison latérale.

L'axe fonctionnel devra donc être recherché à partir des articulaires. Nos recherches nous ont ainsi conduit à montrer qu'il existait du point de vue des mouvements envisagés deux modalités possibles de cinquième vertèbre lombaire. L'appartenance à l'un ou à l'autre de ces groupes entraîne des particularités morphologiques et fonctionnelles dont nous avons déjà précisé certains éléments.

Nous avons ainsi successivement étudié :

- la situation des axes mécaniques ;
- leur variation par étage ;
- les variations par type fonctionnel.

Ce travail a été réalisé sous la direction d'A. Delmas. Il a comporté l'examen de 110 rachis. Chaque vertèbre lombaire

de L 5 à L 1 a été dessinée sur ses faces inférieure et supérieure au pantographe, à l'agrandissement 1 1/2 ; chaque apophyse articulaire a été représentée par la projection horizontale de sa surface cartilagineuse. La ligne ainsi tracée figure un segment de cercle : à partir de deux segments homologues correspondant aux deux articulaires symétriques, on peut dessiner le cercle qui les englobe tous deux.

Le centre fonctionnel cinétique.

Le centre de ce cercle constitue le centre fonctionnel cinétique vertébral selon une définition que nous avons proposée. Il a été facile d'établir ensuite à partir de ce centre les longueurs fonctionnelles des apophyses épineuses et transverses et d'étudier l'angle que forment le centre fonctionnel et le plan horizontal contenant l'axe des transverses. Cette étude envisage la vertèbre dans le plan horizontal, l'importance de l'inclinaison des transverses, mais surtout des apophyses épineuses par rapport à ce plan horizontal.

Si nous nous reportons à la fig. 7, qui représente la projection horizontale d'une vertèbre lombaire, elle nous montre la manière dont il est possible de reconstruire les éléments que nous venons de définir.

Le centre cinétique se situe sur l'axe sagittal médian de la vertèbre considérée, l'orientation variable des apophyses articulaires, leur passage progressif d'un plan frontal à un plan sagittal va faire varier la position de ce centre le long de l'axe sagittal. Selon l'étage considéré, il va donc se déplacer et le rayon du cercle décrit par les apophyses articulaires variera en même temps que la distance du centre cinétique à l'extrémité distale des apophyses épineuses et transverses.

Nous avons ainsi pu constater qu'au niveau de la cinquième vertèbre lombaire ce centre fonctionnel pouvait se trouver soit en avant, soit en arrière de l'extrémité distale de l'apophyse épineuse et que dans certains cas, il était confondu avec elle.

Ce centre présentait ensuite une progression antérieure variable sur les faces supérieure et inférieure et très nette jusqu'à la troisième vertèbre lombaire, à partir de la seconde

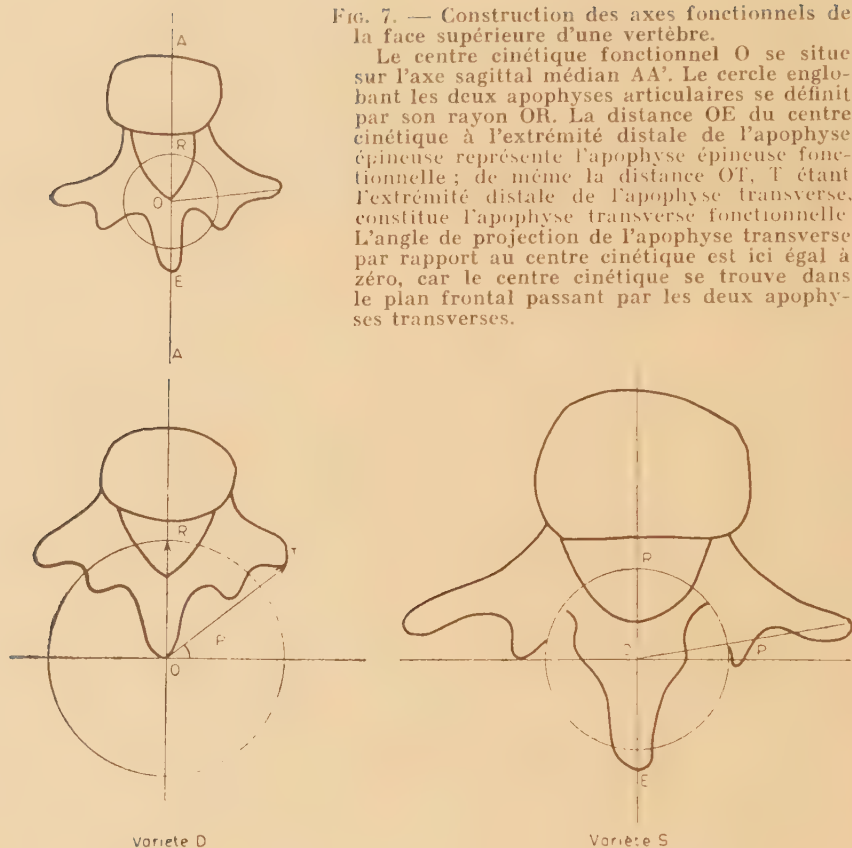


FIG. 7. — Construction des axes fonctionnels de la face supérieure d'une vertèbre.

Le centre cinétique fonctionnel O se situe sur l'axe sagittal médian AA'. Le cercle englobant les deux apophyses articulaires se définit par son rayon OR. La distance OE du centre cinétique à l'extrémité distale de l'apophyse épineuse représente l'apophyse épineuse fonctionnelle; de même la distance OT, T étant l'extrémité distale de l'apophyse transverse, constitue l'apophyse transverse fonctionnelle. L'angle de projection de l'apophyse transverse par rapport au centre cinétique est ici égal à zéro, car le centre cinétique se trouve dans le plan frontal passant par les deux apophyses transverses.

FIG. 8 et 9. — Elles schématisent l'opposition rencontrée entre les deux types de 5^e vertèbre lombaire examinés. Dans la forme S (fig. 9) le centre cinétique est antérieur, déjà en regard des apophyses articulaires, le rayon du cercle est de faible dimension et variera peu entre L5 et L1. La position du centre cinétique détermine une grande apophyse épineuse fonctionnelle (OE), une apophyse transverse fonctionnelle importante (OT) et un angle de projection de l'apophyse transverse très faible (P).

Au contraire dans la variété D (fig. 8), le centre cinétique est très postérieur, il se confond avec l'extrémité distale de l'apophyse épineuse : dans ces conditions, le rayon du cercle a une valeur importante qui va brutalement décroître en remontant la colonne lombaire, l'épineuse fonctionnelle est de valeur nulle, par contre dans ce type, l'angle de projection transverse qui définit la rotation latérale est très développé.

vertèbre lombaire, le centre cinétique occupe une position presque inchangée sur l'axe transversal joignant les extrémités des deux apophyses transverses.

Cette variation de position du centre a été retrouvée au niveau de tous les rachis étudiés.

L'existence de types rachidiens différents est apparue dans la variabilité de la position du centre par rapport à l'épineuse de la V^e lombaire. C'est une confirmation supplémentaire du rôle très variable de la cinquième vertèbre lombaire dans le fonctionnement de la charnière lombo-sacrée :

tantôt pièce dynamique, fondamentale prenant une part active aux différents mouvements de cette région,

tantôt éléments purement statiques, équivalent d'une pièce sacrée supplémentaire, elle n'assumerait alors qu'un simple rôle de transmission des différentes formes de pression s'exerçant le long du rachis.

Cette opposition a été schématisée dans les fig. 8 et 9. Il nous a semblé utile de donner une représentation graphique de ces notions par la mesure des rayons des circonférences qui avaient été tracées.

La variation de ce rayon, le long d'un rachis traduit la progression du centre cinétique et son ascension de la cinquième vertèbre lombaire, vers les apophyses articulaires dont il se rapproche progressivement, en même temps que ces apophyses modifient leur orientation du plan frontal au plan sagittal

On a également tracé la courbe des valeurs mesurées en portant en abscisses le numéro de la vertèbre de L 5 à L 1 et en ordonnées le rayon des cercles.

Ceci permet d'opposer deux types de courbes dont nous donnons la reproduction.

Deux exemples caractéristiques seront tirés de la série : dans le cas du rachis N° 50 (1), le rayon décroît de 32 mm en L 5, à 21 mm en L 4, 17 mm en L 3, 16 mm en L 2, 15 mm en L 1.

Le centre cinétique très à distance des articulaires en L 5, s'en rapproche brusquement en L 4, L 3, puis il se stabilise à partir de L 2, L 1 ; le rayon des cercles a varié du simple au triple.

(1) Collection de rachis du Professeur A. Delmas.

Dans le cas N° 69 (1), les valeurs sont de 18 mm en L 5, 19 mm en L 4, 15 mm en L 3, 14 mm en L 2 et 12 mm en L 1 ; le centre est là d'emblée assez près des articulaires et son déplacement est lent, faible et irrégulier.

Les apophyses épineuses et transverses fonctionnelles.

Les dimensions et l'orientation de ces éléments tel qu'il est possible de les définir par rapport au centre fonctionnel ont été ensuite étudiées. En mesurant la longueur de ces épineuses aux différents étages du rachis lombaire, et en traçant les courbes de leur variations on retrouve les deux types rachidiens précédemment signalés. Dans la première variété, la longueur fonctionnelle de l'épineuse augmente progressivement et passe par exemple dans le cas type N° 50, de 7 mm en L 5, à 15 en L 4, 25 en L 3, 27 en L 2, 22 en L 1.

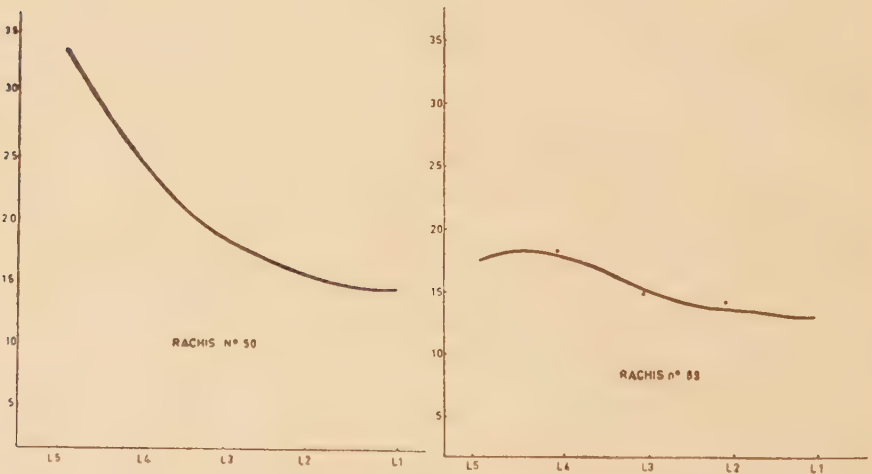


FIG. 10. — Courbe des rayons des cercles des rachis n° 50 et n° 69. Ces deux courbes opposent les deux variétés rachidiennes déterminées par l'étude des axes fonctionnels : sur la courbe du rachis R. 50, on note une variation importante de L5 à L1 alors que celle du rachis n° 69 montre un rayon court dès le départ au niveau de L5, et qui varie très peu jusqu'à L1.

L'épineuse représente un bras de levier intervenant de façon préférentielle dans les mouvements de flexion-extension ; ce bras de levier est très court dans ce type de cinquième lombaire

et augmente brusquement au niveau de la quatrième lombaire, pour atteindre à la première lombaire quatre fois la valeur de L5.

Dans le second type, la longueur fonctionnelle de l'épineuse est à peu près constante, sans grande variation de L5 à L1. Sur le rachis N° 69 les valeurs sont de 31 mm en L4, 33 mm en L3, 46 en L2 et 25 en L1.

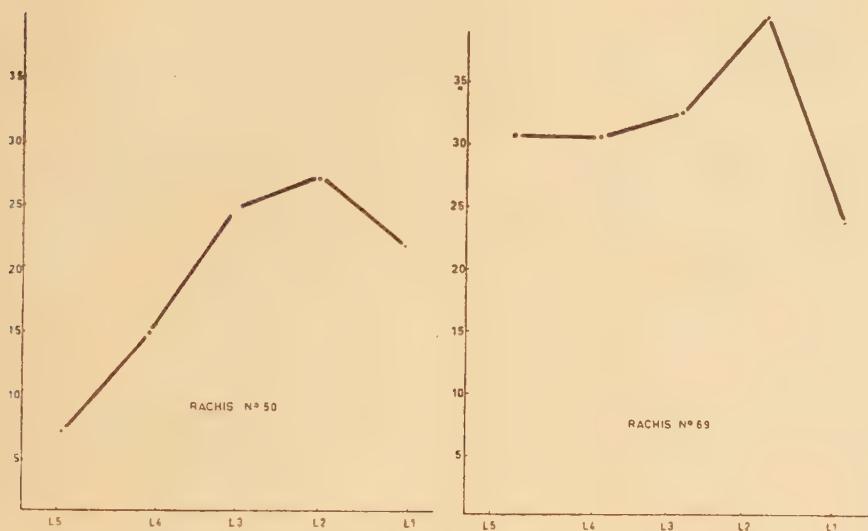


FIG. 11. — Courbe des apophyses épineuses fonctionnelles des rachis n°s 50 et 69. Cette figure schématise l'opposition entre les deux types d'apophyse épineuse fonctionnelle et montre l'existence des deux variétés de 5^e lombaire nettement opposées par leur bras de levier épineux.

Ainsi se vérifie l'opposition entre les deux types de cinquième lombaire, l'une cranialisée cinétique, l'autre caudalisée statique ; cette différenciation se poursuit dans les éléments constitutifs de l'arc postérieur ; comme le confirme l'exploration de la longueur fonctionnelle des apophyses transverses.

Alors que dans la première variété, cette longueur diminue nettement de L5 à L1, dans la seconde, elle reste sensiblement constante tout au long du rachis lombaire. Ceci implique bien entendu deux types très différents du point de vue de l'inclinaison latérale du rachis lombaire examiné.

Le dernier élément déterminé à partir du centre cinétique fonctionnel est l'angle que fait ce centre avec le plan frontal transverse. Les deux plans sont confondus au niveau des deux premières vertèbres lombaires, et éventuellement au niveau de la troisième, l'angle est donc nul, les différences existent essentiellement au niveau des deux dernières vertèbres lombaires et l'on retrouve encore deux types rachidiens très différents du

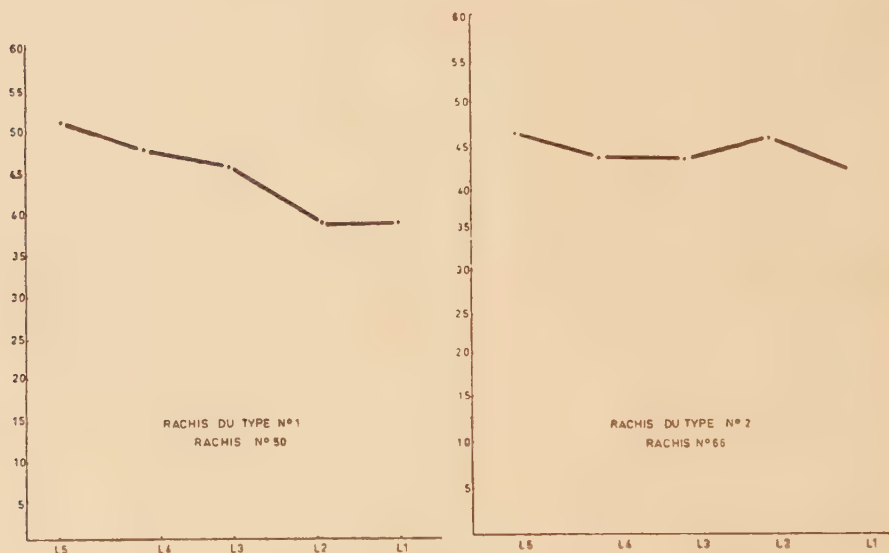


FIG. 12. — Courbe des apophyses transverses fonctionnelles des rachis n°s 50 et 66. L'exploration de l'inclinaison latérale par la détermination des axes fonctionnels montre dans un cas une variation le long de la colonne lombaire, dans l'autre une constance qui traduit l'absence d'éléments préférentiels pour ce mouvement dans la colonne envisagée.

point de vue fonctionnel. Ainsi pour le rachis n° 50, l'angle de projection est de 40° pour la cinquième vertèbre lombaire, de 5° pour la quatrième, alors que pour le rachis N° 69, cet angle est de 15° pour la cinquième vertèbre lombaire, de 20° pour la quatrième, la rotation latérale pour un rachis de ce type est dans ces conditions de beaucoup plus faible importance.

Tout au long de cet exposé, deux types de colonne lombaire ont été mis en évidence avec des axes fonctionnels totalement différents.

Ainsi se confirme sans discussion l'opposition qui reste la conclusion principale de cette étude et il a surtout pour effet d'en permettre la localisation ; c'est au niveau de la cinquième vertèbre lombaire et plus particulièrement au niveau de sa face inférieure qu'existent les différences majeures observées.

Ces recherches ont permis de définir un centre cinétique fonctionnel vertébral propre. Il est déterminé par l'orientation des apophyses articulaires, il permet d'étudier la valeur fonctionnelle des différents éléments de l'arc postérieur vertébral, il permet donc de prévoir par le jeu des insertions musculaires, l'ordre préférentiel des mouvements dans la région envisagée.

Ainsi l'étude du corps vertébral nous avait permis de définir deux types de V^e vertèbre lombaire, l'étude dans un plan horizontal des différents éléments de l'arc postérieur nous a donné des résultats identiques.

Il convenait ensuite d'envisager l'observation des éléments de l'arc postérieur dans un plan sagittal, qui nous permettrait de tenir compte de l'inclinaison sur l'horizontale des apophyses épineuses.

Les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles de l'apophyse épineuse de la cinquième vertèbre lombaire.

Slijper considère que les apophyses épineuses représentant des leviers transmettant la force exercée par les muscles et les ligaments sur les corps vertébraux.

La direction des apophyses épineuses est déterminée par la résultante des forces musculaire et ligamentaire agissant sur elles. Le remarquable ouvrage de Slijper comportait cependant une erreur. Comme le montre la figure 6, page 100 que nous reproduisons, il oriente les diamètres transversaux du corps vertébral dans un plan vertical et non dans un plan horizontal. Et pourtant cette orientation en rapport avec la locomotion bipédique transforme entièrement les données mécaniques du problème. Il convenait donc de reprendre cette étude dans le cas précis de ce mode de station, en utilisant les éléments que nous avons précédemment définis.

Cette observation a été pratiquée sur la même série de 100 rachis. Avec H. Kyncl, la dernière vertèbre lombaire de chaque

rachis a été dessinée au pantographe à l'agrandissement de 1 1/2. Le maintien de profil était assuré par fixation dans des grains de plomb et un niveau d'eau placé sur la face latérale de l'apophyse épineuse a permis de l'orienter selon un plan rigoureusement sagittal.

La confrontation du dessin obtenu et de la vertèbre correspondante a permis de construire sur la figure les axes sagittaux de l'épineuse, c'est-à-dire les leviers.



FIG. 13. — V° lombaire, type bi-tuberculé.

La position des centres fonctionnels correspondant aux faces supérieure et inférieure de la vertèbre est d'abord repérée directement sur la pièce osseuse et leur situation reportée sur le calque.

Deux plans de référence sont adoptés, intéressant la face supérieure et la face inférieure du corps vertébral. Chacun d'eux passe par les bords antérieur et postérieur de la face considérée. Ces plans sont figurés sur le calque par leur droite de projection. Le centre géométrique de chaque facette articulaire a reçu la dénomination de centre articulaire.

Les centres articulaires supérieur et inférieur sont respectivement compris dans les plans supérieur et inférieur correspondant. Sur les calques, le centre articulaire supérieur est déterminé par le milieu de la projection horizontale de la facette articulaire coupée par la droite figurant le plan supérieur.

Le centre articulaire inférieur et la droite contenue dans le plan correspondant croisent le bord postérieur de l'apophyse en un point donné. Ce point représente le sommet fonctionnel de la vertèbre en rapport avec le système articulaire inférieur. Ce système joue un rôle essentiel dans la mobilisation d'une vertèbre.



FIG. 14. — V^e lombaire, type mono-tuberculé.

Les mouvements passent surtout dans le système articulaire inférieur qui se mobilise par l'intermédiaire du disque sur le système articulaire sous-jacent correspondant à la face supérieure de la vertèbre sous-jacente, et que l'on peut arbitrairement considérer comme immobile. La dénomination de sommet fonctionnel est justifiée par le fait que ce point est déterminé

par un ensemble mécanique et qu'il n'a rien à voir avec le point le plus distal de l'apophyse épineuse.

Sur certaines vertèbres, ce point peut être également en rapport avec le système articulaire supérieur. C'est ce qui se produit lorsque la droite joignant le centre articulaire supérieur passe par le sommet déterminé sur l'épineuse.

Il s'agit alors de vertèbres dont l'épineuse ne présente qu'un seul sommet fonctionnel. Sur d'autres vertèbres, cette droite n'aboutit pas au sommet fonctionnel déterminé, mais coupe le bord postérieur de l'apophyse épineuse en un point qui constitue pour ces vertèbres un deuxième sommet fonctionnel.

Celui-ci correspond le plus souvent à l'existence d'un tubercule supplémentaire au-dessus du sommet inférieur. Dans les autres cas, on observe seulement qu'une accentuation du bord supérieur et l'épineuse. Fonctionnellement ce deuxième sommet montre l'importance sur certain rachis de l'amarrage inter-épineux et musculaire sus-jacent.

L'existence d'un ou deux sommets fonctionnels constitue un élément de plus qui nous permet d'établir une différenciation entre les deux types déjà signalés de cinquième vertèbre lombaire.

Un autre caractère différentiel provient de l'inégalité de longueur des leviers de l'apophyse épineuse.

Chaque épineuse constitue deux leviers : l'un supérieur, l'autre inférieur. Leur origine est au centre articulaire correspondant, leur terminaison se fait soit pour les deux sommets et fonctionnel unique, soit à leur sommet fonctionnel respectif.

La longueur des leviers a été mesurée et a permis le calcul de l'indice suivant.

$$\frac{\text{Longueur du levier inférieur} \times 100}{\text{Longueur du levier supérieur}} = \text{indice épineux.}$$

Cet indice permet d'apprécier en valeur absolue les rapports entre les leviers inférieur et supérieur de la vertèbre, par élimination des facteurs provenant de la variation tridimensionnelle des vertèbres.

La moyenne des différents indices épineux a été calculée : elle est égale à 81,85 ; l'indice minimum se situant à 61 et l'indice maximum à 105. L'écart sigmatique a été évalué à 2,5.

Le caractère différentiel provenant de l'existence de un ou deux sommets fonctionnels a permis de distinguer sur 100 vertèbres :

- 67 à 1 sommet fonctionnel ;
- 33 à 2 sommets fonctionnels.

Parmi les 67 vertèbres à un sommet fonctionnel, 19 appartenaient à un rachis dont le sacrum était de type homobasal ; 48 appartenaient à un rachis dont le sacrum était de type hypobasal.

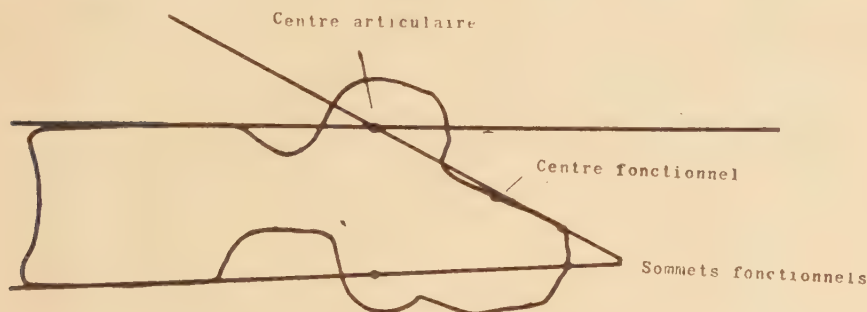


Fig. 15. -- Epineuse à sommet bi-tuberculé.

Parmi les 33 vertèbres à deux sommets fonctionnels 5 appartenaient à un rachis dont le sacrum était de type homobasal. 28 appartenaient à un rachis dont le sacrum était de type hypobasal.

Il était tentant de rechercher une corrélation entre l'indice de basalité et l'indice épineux. Cependant d'après le diagramme de dispersion, il ne semble pas exister de corrélation statistique entre ces deux indices.

Il a été alors recherché, une corrélation entre la basalité et la longueur du levier inférieur (élevée au carré) rapportée à la surface de la face inférieure du corps vertébral. Mais le diagramme de dispersion n'a pas montré non plus de corrélation.

Il faut cependant noter que les sacrus du type hypobasal sont plus fréquemment du type à deux sommets.

L'absence de corrélation statistique est probablement dûe au fait que deux facteurs entrent en jeu et modifient la basalité : le disque lombo-sacré et les caractères sexuels du sacrum et de la cinquième vertèbre lombaire.

La présence d'un ou de deux tubercules à l'extrémité de

l'épineuse est le caractère qui en définitive mérite de retenir le plus l'attention. Il permet de classer les cinquièmes vertèbres lombaires et de les rattacher, soit à un type d'épineuse sacrée mono-tuberculé ou lombaire vrai, soit à un type lombaire vrai bituberculé.

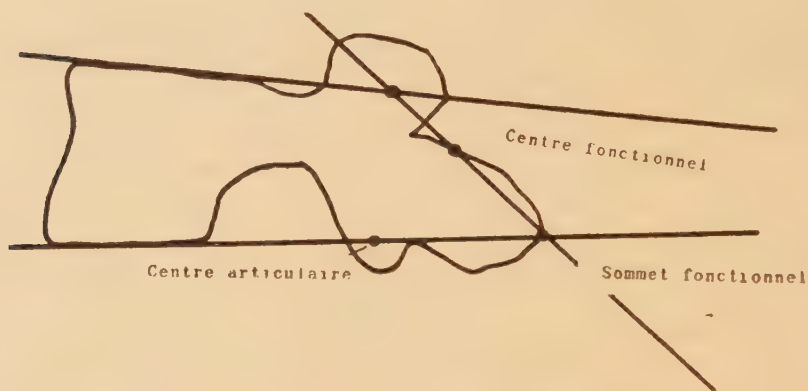


FIG. 16. — Epineuse à sommet mono-tuberculé.

Il est à noter que lorsqu'il existe un tubercule unique, celui-ci appartient à la partie inférieure de l'extrémité distale de l'apophyse. L'épineuse mono-tuberculée, ou de type sacré est la plus fréquente. Elle s'observe dans 67 % des cas. L'épineuse bi-tuberculée ou de type lombaire se voit plus rarement, dans 33 % des cas.

Si l'on reprend la classification de Keith on peut dire que l'on observe une épineuse sacrée de type caudal dans les 2/3 des cas, le tiers restant étant de type cranial.

Lorsque la cinquième lombaire est monotuberculée, les apophyses épineuses sus-jacentes sont à un moment ou à un autre bituberculées.

Il nous a semblé intéressant de noter à quel moment apparaissait cette bituberculisaison.

Nous l'avons observée :

- 44 fois sur la vertèbre sus-jacente.
- 16 fois sur la 2^e vertèbre sus-jacente.
- 3 fois sur la 3^e vertèbre sus-jacente.
- 2 fois sur la 4^e vertèbre sus-jacente.

Si nous rapprochons ce fait de l'indice lombaire que nous avons précédemment défini, nous voyons qu'il est parallèle à la forme à convexité antérieure des différentes vertèbres lombaires. De même que cette convexité antérieure diminue progressivement de la cinquième à la première vertèbre lombaire, la monotuberculisation est progressivement remplacée par la bituberculisation de la cinquième à la première vertèbre lombaire.

LE CANAL INTERVERTEBRAL DE L 5

L'étude de la forme du canal rachidien de la cinquième vertèbre lombaire, va nous fournir un exemple supplémentaire de cette adaptation de la morphologie osseuse à ses fonctions dynamiques.

La fonction du squelette en général, et en particulier de la colonne vertébrale est essentiellement une fonction mécanique ; il apparaît logique par conséquent de s'efforcer de résoudre les problèmes posés par les techniques et les raisonnements propres à la mécanique. Une réserve importante reste à faire si les fonctions sont bien mécaniques, le matériau est lui biologique. Il est alors très difficile, du moins dans les conditions actuelles de définir les principales caractéristiques osseuses dont il faudrait tenir compte, comme par exemple : le coefficient d'élasticité.

Le remaniement permanent de la substance osseuse vient encore compliquer le problème, il n'en reste pas moins que ce remaniement est sous la dépendance, du moins partielle, de facteurs statiques et dynamiques.

La forme du canal rachidien et sa capacité relative ne sont pas les mêmes dans ses différentes parties.

Ces différences qualitatives ont été étudiées d'une façon très précise par Aeby.

En conclusion, la résultante des forces qui s'opposent au glissement antérieur de la cinquième vertèbre lombaire, aboutirait à la transformation des éléments de l'arc postérieur et en particulier le canal rachidien primitivement circulaire deviendrait triangulaire à grand axe antéro-postérieur.

Une preuve supplémentaire en est fournie par la forme du canal sacré : la partie supérieure du sacrum, celle qui participe à la lordose lombaire comme nous l'avons montré précédemment répond à cette description ; dans cette région de la première vertèbre sacrée, le canal sacré est triangulaire comme dans la section lombaire.

Au niveau de la deuxième et de la troisième vertèbre, la paroi postérieure du canal se rapproche du corps des vertèbres, l'angle s'arrondit et la forme ne devient circulaire qu'à cause de la large communication du canal sacré avec les canaux intersacrés.

ETUDE RADIOLOGIQUE DE L'ARCHITECTURE INTERIEURE DE LA CINQUIEME VERTEBRE LOMBAIRE

DEFINITION GENERALE DE L'ARCHITECTURE INTERIEURE D'UNE VERTEBRE

Les techniques d'étude de l'architecture intérieure d'un os sont extrêmement variables. Depuis J. Wolff, il est admis que l'orientation des travées osseuses reflètent l'influence des conditions mécaniques s'exerçant au niveau d'un os.

De multiples méthodes ont ainsi pu être mises au point.

L'étude radiologique en fait partie et les progrès réalisés en cette technique ont permis d'avancer les résultats et de repousser les limites de cette méthode. Ces problèmes avaient déjà été étudiés par Mutel, puis par Gallois et Japiot. Ces auteurs utilisant des vertèbres conservées et dépouillées de graisse, les ont sciées suivant différents plans.

Ils ont ainsi pratiqué des coupes sagittales, horizontales, frontales et obliques. Ils ont examiné ces coupes par vision directe mais ils ont procédé à un contrôle radiologique. Ils ont choisi comme point de départ pour leurs descriptions la région dorsale.

La moindre mobilité de ces vertèbres, leur fixité réduit leur fonction et permet de mieux schématiser leur structure intérieure. Sur une coupe sagittale médiane, le corps de la vertèbre apparaît parcouru par des travées verticales et horizontales. Les travées verticales sont de la face supérieure à la face inférieure, elles sont nombreuses, serrées les unes contre les autres et assez régulièrement réparties. Les travées horizontales sont groupées en deux faisceaux situés le long des faces supérieure et inférieure elles sont rares au centre.

Il résulte de cette distribution des travées un aspect aréolaire de la partie moyenne du corps vertébral. Si les travées ver-

ticales appartiennent en propre au corps, les travées horizontales paraissent provenir de la masse apophysaire.

L'apophyse épineuse est formée par des travées arciformes qui vont d'un bord à l'autre, celles qui proviennent du bord postérieur sont les plus nombreuses. A la base de l'implantation de l'apophyse, les travées deviennent irrégulières et il est impossible à ce niveau sur la lame qui fait suite à l'apophyse de distinguer leur orientation.

Sur une coupe sagittale latérale, on aperçoit le corps, le pédicule, les apophyses articulaires.

Cette coupe est tangente au contour du corps vertébral et passe par le sommet des apophyses articulaires.

Extérieurement, elle apparaît formée par deux parties, le corps et les apophyses articulaires, reliés par le pédicule. Les apophyses articulaires ont l'aspect de deux triangles adossés par leur base. Leurs sommets sont aigus, leurs bords antérieurs incurvés, le supérieur décrivant une simple courbe, l'inférieure une véritable arche de pont ; leurs bords postérieurs sont rectilignes.

Les surfaces articulaires sont terminées : la supérieure par une encoche plus ou moins profonde, l'inférieure par des aspérités. Encoche et aspérités jouent un rôle dans certaines attitudes car elles peuvent être appelées à recevoir les pressions des apophyses articulaires des vertèbres sus ou sous-jacentes. Nous y reviendrons à propos des mouvements du rachis.

En examinant les coupes, on voit que le tissu osseux est compact au niveau des surfaces articulaires et des bords du pédicule ; ailleurs il est aréolaire. Du tissu compact se détachent des travées qui vont rayonner dans le corps. De la surface articulaire supérieure partent des travées qui se condensent sur le bord supérieur du pédicule puis vont en décrivant des courbes régulières se terminant sur la face inférieure du corps. Inversement de la face supérieure du corps partent des travées qui décrivent des courbes assez identiques qui vont se grouper sur le bord inférieur. Il existe donc deux faisceaux qui se croisent dans l'épaisseur du corps vertébral.

Les travées n'occupent pas toute l'épaisseur du corps ; nombreuses en arrière, elles sont très clairsemées en avant. En outre elles sont disposées latéralement et ne se voient pas au centre du corps vertébral.

Mutel a déjà signalé ces deux systèmes de travées dans le corps vertébral sous la dénomination de systèmes obliques. Le faisceau oblique supérieur étant celui qui provient de l'articulation supérieure et l'oblique inférieur celui qui va aboutir à l'apophyse articulaire inférieure. Il existe en outre des travées à direction horizontale qui longent les deux faces supérieure et inférieure du corps et qui proviennent du pédicule, il en sera fait à nouveau mention ultérieurement.

Sur les coupes horizontales, il est possible d'étudier successivement les différentes parties de la vertèbre. Au niveau du corps, l'aspect est variable suivant que les coupes passent par le centre ou le voisinage des faces supérieure ou inférieure. Au voisinage des faces, les travées paraissent sortir en gerbe du pédicule pour s'épanouir dans le corps vertébral. Les faisceaux internes longent le canal rachidien et s'enfoncent obliquement dans le corps en s'entrecroisant sur la ligne médiane avec celle du côté opposé.

Les faisceaux externes suivent le contour extérieur du corps en décrivant des courbes concentriques, elles s'entrecroisent aussi avec celles du côté opposé. C'est à cette orientation des travées externes que l'on peut attribuer l'apparence concentrique des cavités aréolaires.

Sur une coupe passant par le centre, les travées horizontales sont exceptionnelles. Il n'existe plus que des cavités plus ou moins larges sans orientation définie.

Le pédicule représente le pont de convergence des travées horizontales, qui viennent se fusionner plus ou moins avec ses bords interne et externe. Au centre du pédicule, on aperçoit quelques travées obliques et transversales.

Sur les apophyses articulaires, la coupe passe par leur base et ne met en évidence que des travées antéro-postérieures plus ou moins nettes.

Les apophyses transverses sont formées par des travées arciformes allant d'un bord à l'autre et se croisant à la façon de croisillons. Sur cette vertèbre dorsale au niveau de l'articulation transversaire, il existe de nombreuses travées qui partant de cette surface articulaire vont aboutir aux bords de l'apophyse transverse.

Les lames sont comme les pédicules des voies de passage pour ces travées. Elles sont formées de deux bords limitant une zone spongieuse étroite.

Le bord antérieur est mince, le bord postérieur plus épais, sert d'union aux deux apophyses transverses.

Entre les bords, le tissu osseux est constitué par un feutrage dense où il est possible de distinguer des travées tantôt obliques, tantôt transversales.

L'examen de coupe frontale, confirme ces données en ce qui concerne le corps vertébral et le pédicule.

Ces coupes mettent en outre en évidence les faisceaux d'union de l'apophyse épineuse avec les autres apophyses.

Il existe deux faisceaux principaux unissant les parties droite et gauche de la vertèbre.

Un faisceau en U qui relie les apophyses articulaires supérieures entre elles, un faisceau horizontal allant d'une apophyse transverse à l'autre.

SYSTEMATISATION DE LA VERTEBRE LOMBAIRE

Ces données fournies d'une part par Gallois et Japiot, d'autre part par Mutel, nous apportent les données élémentaires de la structure intérieure d'une vertèbre dorsale.

Par rapport à ces données de base, il était intéressant de vérifier les variations par étage, ce qui n'avait été qu'esquisse par les auteurs précédents.

Dans le cadre précis de notre travail, il était donc utile de reprendre avec des techniques d'ailleurs plus modernes, l'architecture intérieure des vertèbres lombaires et de rechercher quels étaient les caractères différentiels qu'il serait possible de mettre en évidence sur la cinquième vertèbre lombaire.

Technique.

Cette partie de notre étude a été réalisée au Laboratoire des Travaux Anatomiques (Pr. A. Delmas) avec la collaboration de C. Aaron, qui nous a aidé à mettre au point la technique radiologique. Des clichés complémentaires ont été réalisés dans le service de radiologie de l'Hôpital Broussais en particulier certains agrandissements et les coupes tomographiques.

Les avantages respectifs des procédés utilisés sont les suivants :

Les clichés pris selon les techniques courantes permettent de retrouver les aspects habituels et les éléments structuraux décrits par les auteurs classiques. La lecture des images montre les grandes lignes de l'architecture et permet d'en dresser les schémas. Cependant une certaine part d'interprétation demeure dans cette lecture. Certaines zones sont floues et l'analyse est difficile dans les régions où les blancs et les noirs ne s'opposent pas.

La technique d'agrandissement direct, donne des résultats supérieurs, les travaux de Fischgold et de son école ont bien montré tout l'intérêt de cette méthode.

Cette technique appliquée au corps vertébral et aux éléments de l'arc postérieur va nous permettre une analyse plus poussée en ce sens que les zones floues sont moins nombreuses et que l'échelle plus grande permet une vue meilleure et par conséquent une analyse plus fine de tous les détails structuraux.

Enfin les clichés sur films métallographiques permettant une élimination encore plus poussée du flou. Il semble que l'on puisse ainsi éliminer presque complètement les déformations et la finesse des détails est l'équivalent d'un agrandissement moins les flous.

Il nous a paru utile de compléter cette analyse par des coupes tomographiques pratiquées dans les plans sagittal et frontal de centimètre en centimètre. Ils furent réalisés dans le service de radiologie de l'hôpital Broussais de même que nos agrandissements directs.

La technique utilisée a été la suivante : afin d'éviter toute erreur de centrage et d'orientation dans l'espace, nous avons prélevé sur un rachis frais, une vertèbre lombaire en l'occurrence la troisième lombaire. Celle-ci a été coulée dans de la cire afin d'obtenir un bloc parallélipédique, sur lequel il serait possible de marquer les repères.

Afin de pouvoir comparer les clichés entre eux, les angles de ce bloc de cire ont été marqués avec des repères de plomb.

La vertèbre enrobée dans la cire est alors placée de telle sorte que les repères marqués sur deux faces correspondent au centre du Potter et à l'entrecroisement des spots du centreur lumineux, la distance foyer-plaque étant de 90 cm.

Les agrandissements sont à l'échelle 3. Il a été utilisé une plaque de matière plastique maintenue par un trépied permettant d'obtenir des hauteurs variables.

La vertèbre est placée sur cette plaque centrée par le spot lumineux.

Les angles du bloc de cire étant marqués par des lamelles de plomb et le centrage étant toujours le même il est possible d'obtenir des clichés parfaitement comparables entre eux.

Résultats.

1) ETUDE DES CLICHÉS DE FACE.

Nous ne reviendrons pas sur l'aspect d'une vertèbre lombaire vue de face. L'image classique du corps vertébral à l'intérieur duquel se projettent soit des ailes de papillon, soit l'ombre de deux yeux est trop connue pour que nous nous y arrêtions. Il nous a semblé beaucoup plus important d'étudier sur cette vue de face, la systématisation de différents secteurs correspondant à des aspects structuraux variables.



FIG. 17. — Détermination des secteurs sur une vue antérieure de L3.

Pour cette étude, à côté de clichés de la vertèbre entière, nous avons pris des radios d'éléments isolés de la vertèbre afin de bien éliminer toute superposition.

Sur la figure 17, nous pouvons distinguer :

Les secteurs 1 et 1 bis : Ils correspondent à la partie supérieure de l'aile du papillon et réalisent une image en orbite, les coupes montrent que nous nous trouvons à ce niveau à la limite de la région pédiculaire, à la jonction de l'origine des apophyses articulaires supérieure et inférieure.

Ce secteur est formé par une zone périphérique dense réalisant un anneau en rapport avec le pourtour compact du pédicule dont l'extrémité antérieure s'insère sur le corps vertébral. Elle se prolonge vers le bas par un pied dont la limite externe est nette alors que la limite interne est plus estompée. lamellaire, se continuant progressivement avec la partie centrale. La région centrale de ce secteur correspond à la partie interne du pédicule sur laquelle vient se projeter en superposition l'image du corps et des lames.

Elle est divisée en deux parties, par une cloison sagittale plus dense correspondant au bord axial de l'apophyse articulaire supérieure. Cette zone a un aspect aréolaire en mailles, parsemée d'éléments plus denses, provenant de la région périphérique, et ayant l'aspect de boules ou d'étoiles.

Les aréoles sont toujours beaucoup plus marquées dans la partie interne. Ceci peut s'expliquer par la présence des orifices latéraux vasculaires du corps vertébral.

Le secteur II : Il correspond à la zone centrale située entre la projection de l'apophyse épineuse et celle des pédicules. C'est la partie supérieure du corps. Limitée en haut par une ligne horizontale nette, très opaque, en dessous par des lignes discontinues légèrement concaves en haut, amorcée de la trame horizontale. On y retrouve la projection frontale de l'épineuse et l'image du bord supérieur des lames.

Il s'agit d'un quadrillage régulier, fait de cloisons verticales et horizontales, avec présence d'images en boules aux intersections de ces bandes.

Le secteur III : Il est situé de part et d'autre de l'apophyse épineuse et il comprend la superposition des lames et du corps. Ce qui permet de les différencier, c'est l'existence à nouveau d'un aspect lamellaire de direction légèrement arciforme.

Le secteur IV : Il correspond aux angles inférieurs du corps vertébral. On y retrouve des cloisons verticales ou légèrement obliques, réalisant un aspect de coulée en flammèches, entre lesquelles on retrouve un aspect aréolaire.

Le secteur V : C'est la projection de l'apophyse épineuse présentant l'aspect classique en chapeau chinois. Sa périphérie est très dense, particulièrement à son sommet, son centre est aréolaire.

Le secteur VI : Il correspond aux articulations inférieures. Elles apparaissent particulièrement transparentes par suite de l'absence de toute superposition. Elles se situent dans le prolongement de la cloison verticale de l'orbite supérieure qui descend le long de leur bord externe.

Ce secteur est formé de faisceaux en écharpes obliques de dedans en dehors et de haut en bas.

Le secteur VII : Il correspond aux apophyses transverses également très transparentes. Il est constitué de travées ondulées qui cheminent le long des bords supérieurs et inférieurs de l'apophyse.

En conclusion de cette étude de face, nous nous sommes attachés à définir différents secteurs correspondant topographiquement aux différentes portions de la vertèbre et différenciables entre eux par l'agencement structural qu'ils représentaient sur les clichés que nous avons examinés.

Nous pouvons ainsi définir trois sortes d'éléments :

- des fibres verticales sur le corps vertébral et le pédicule ;
- des fibres horizontales sur le corps vertébral et les apophyses transverses, réalisant des cloisons à type de piliers ou de barricades avec, au niveau des entrecroisements, un système à boules ;
- des fibres obliques ou en écharpes, qui existent disséminées sur différents éléments du cliché, mais qui sont le mieux systématisées aux niveaux des lames.

2) ÉTUDE DU CLICHÉ DE PROFIL.

L'examen des clichés de face nous a permis de définir les différents éléments structuraux de la vertèbre, mais nous avons vu que dans cette incidence nous étions gênés par les superpositions.

Les clichés de profil (fig. 18) vont nous permettre d'isoler les éléments propres à l'arc postérieur et de les différencier de ceux du corps vertébral. Ils nous mettront également en évidence les principaux systèmes d'association.

Par le procédé des coupes, nous allons isoler les principaux secteurs.

Nous distinguons tout d'abord une zone triangulaire à base antérieure, à sommet tronqué et dont les bords correspondent aux faisceaux des pédicules supérieur et inférieur. C'est la partie antérieure du corps vertébral au niveau de laquelle il n'existe aucune superposition.

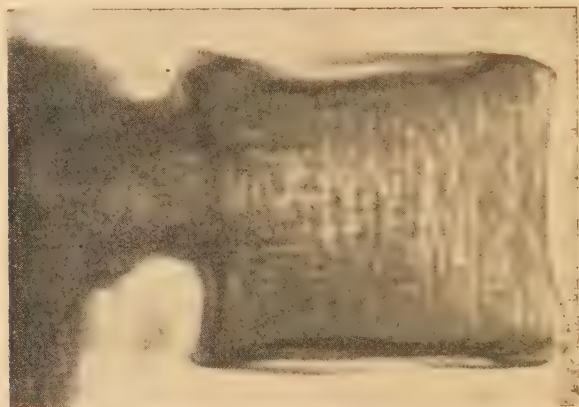


FIG. 18. — Etude architecturale de L3 en profil.

Elle présente un aspect aréolaire, séparé par des cloisons verticales et horizontales sous forme de colonnettes, aux points d'intersection desquelles nous retrouvons des aspects en mie de pain. La portion supérieure semble moins systématisée, avec à nouveau des images en flammèches où se mêlent des zones plus denses séparées par des zones floconneuses.

Le reste de la région antérieure est occupé par deux zones symétriques complétant le triangle précédemment décrit. Ils correspondent aux angles postéro-supérieurs et postéro-inférieurs du corps vertébral. Leur limite est donc représentée par le bord postérieur du corps de la vertèbre, par la partie postérieure du plateau vertébral et par les lignes obliques d'origine pédiculaire qui les séparent de la région triangulaire antérieure.

Les plateaux vertébraux apparaissent sous la forme de deux bandes légèrement festonnées et très denses à concavité périphérique et qu'entourent deux lignes moins opaques qui traduisent la différence de structure entre les portions périphérique et centrale de la vertèbre.

La région du pédicule comporte deux parties :

— une portion antérieure dont les deux bords sont très denses et au centre de laquelle il existe une zone aréolaire à l'intérieur de laquelle des faisceaux s'entrecroisent en tous sens ;

— une portion postérieure qui constitue l'isthme, nœud de convergence des fibres provenant de tous les éléments de l'arc postérieur. C'est là que vont s'entrecroiser les principaux faisceaux d'association.

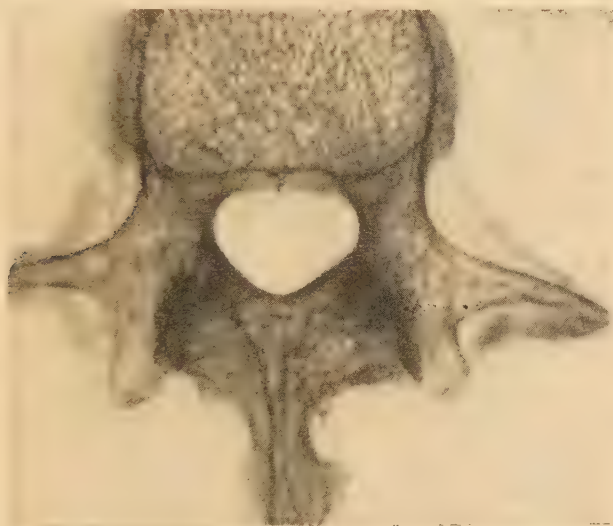


FIG. 19. — Vue supérieure de L3. Agrandissement sur film métallographique (cliché C. Aaron).

Si nous établissons un parallèle entre les zones de fortes pressions et les zones les plus opaques correspondant à une densité osseuse maximum, nous constatons que l'opacité de la vertèbre augmente d'avant en arrière et a atteint sa valeur la plus élevée en regard de l'isthme, qui correspondrait par conséquent aux zones des plus fortes pressions, comme nous en donnerons la preuve dans les chapitres suivants.

Nous avons ensuite étudié les modifications apportées à ces aspects en faisant varier les incidences radiologiques. Nous avons pris des clichés de profil selon une incidence de 0°, puis de 30°, puis de 60° et enfin de 90°.

L'incidence classique de Lachapelle nous a montré l'aspect isolé par cet auteur sur le cliché en oblique.

C'est l'image du petit chien : son museau est formé par l'apophyse transverse, son oreille par l'apophyse transverse, son oreille par l'apophyse articulaire supérieure, la patte antérieure par l'articulaire inférieure, le cou par l'isthme, le corps par la lame vertébrale. La partie postérieure représente la lame vertébrale et les apophyses du côté opposé.



Fig. 20. — Aspect du mur pédiculaire après résection.

Nous avons enfin pratiqué des coupes parallèles au plan sagittal après avoir enlevé les deux plateaux vertébraux (fig. 19). Sur ces coupes, nous pouvons noter la pénétration minime dans la partie postérieure de la vertèbre des éléments de l'arc postérieur. On a l'impression que le système de l'arc postérieur vient se fixer sur le corps vertébral comme une tenaille enserrant un cylindre.

A la jonction de ces deux éléments apparaît une image de densité plus grande correspondant à une condensation osseuse et réalisant une véritable plaque murale, qui correspond probablement à un faisceau d'association entre les deux systèmes

articulaires symétriques. Notons que du point de vue pathologique, cette plaque de condensation correspond à une tissuration dans le corps vertébral, connue sous le nom de fente rétro-somatique.

Nous avons précédemment essayé de définir les éléments architecturaux caractéristiques de la vertèbre lombaire, L3 ayant été pris comme type de description.

En plus des différents faisceaux décrits par Mutel, et Gallois et Japiot, nous nous sommes efforcés, grâce à une technique radiologique spéciale (fig. 20), de définir du point de vue radiologique certains types structuraux élémentaires dont nous avons tenté le regroupement selon les différentes parties de la vertèbre.

CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DE LA CINQUIEME VERTEBRE LOMBAIRE

Il nous restait à dégager les caractéristiques de la cinquième vertèbre lombaire. La même technique, les mêmes clichés furent pris pour cette vertèbre et les résultats qui s'en dégagent sont les suivants :

Etude de face.

Il s'agit bien entendu d'une cinquième vertèbre lombaire qui provient du même rachis que la troisième examinée, sinon toutes comparaisons seraient impossibles en raison d'éventuelles variations d'âge, de taille, ou de facteurs pathologiques dont nous ne connaissons pas encore les effets sur les éléments que nous venons de décrire.



FIG. 21. — Détermination des secteurs sur une vue antérieure de L5.

Sur les clichés de face (fig. 21) dont nous présentons la reproduction, le premier fait frappant est la différence de densité entre les deux plateaux vertébraux. Signalons immédiatement qu'il s'agissait d'un sujet jeune dont les vertèbres ne présentaient aucun processus pathologique. Cette condensation ne peut donc être expliquée par une éventuelle arthrose par exemple, insistons sur le fait que nous considérons par exemple qu'il existe un parallélisme entre l'augmentation d'opacité des ombres vertébrales et la concentration des pressions dans le point où elles se localisent, nous pouvons donc, par cette étude radiologique, esquisser un relèvement topographique des contraintes de la vertèbre examinée.

Nous verrons plus loin qu'il nous a été possible de mettre en œuvre une autre méthode pour dégager ces contraintes.

Le second fait caractéristique qui apparaît sur ce cliché de face est l'existence d'une étoile sous-jacente à ce que les radiologues classiques appellent l'œil de la vertèbre.

Il s'agit d'une image de forte condensation osseuse, très nette sur tous les clichés de la cinquième vertèbre lombaire, que nous avons pratiqués et qui n'existait pas aux étages supérieurs, pas plus sur la troisième vertèbre lombaire que sur la quatrième, la seconde ou la première.

Comparons ensuite les aspects des différents secteurs :

Le secteur I : Il est plus haut situé, plus près de la face supérieure, remontant vers le cadran supéro-externe de la vertèbre. L'œil de la vertèbre est directement en contact sur son bord externe avec le bord latéral du corps vertébral.

La densité osseuse à l'intérieur de cette structure y est par ailleurs modifiée avec une certaine diminution de l'aspect aréolaire.

Il en résulte que la surface du secteur II, secteur sus-épineux, est plus réduite qu'au niveau de L3, et les lames y apparaissent plus denses.

Le secteur IV : Il ne représente plus d'images en flammèches et l'on ne note pas à sa périphérie d'aspect en coq.

Le secteur V : Il correspond à l'épineuse, qui apparaît beaucoup plus dense et plus allongée.

L'étude des articulaires et des transverses nous les montre d'une opacité beaucoup plus faible sur ces clichés.

Etude des clichés de profil de la cinquième vertèbre lombaire.

Le triangle à base antérieure qui occupait la majeure partie du corps vertébral au niveau de la troisième vertèbre lombaire, s'est considérablement réduit jusqu'à presque disparaître ici (fig. 22).



Fig. 22. — Etude architecturale de L5 sur un profil.

Le corps vertébral nous apparaît comme formé d'une série de colonnettes verticales limitant entre elles des espaces clairs, par contre, à la partie postérieure de ce corps, nous notons une image de grande densité en forme de L dont la branche verticale se confond avec la limite postérieure du corps vertébral, alors que la branche horizontale se prolonge parallèlement au plateau vertébral inférieur, auquel elle est nettement sus-jacente.

De cette condensation partent toute une série de stries linéaires également très opaques, qui se dirigent surtout vers le plateau vertébral supérieur, mais dont quelques-unes tout de même descendent vers la face inférieure de la vertèbre.

Au niveau du pédicule, nous retrouvons également une zone de condensation osseuse très marquée qui correspond à son bord supérieur, tandis que le reste de la surface pédiculaire

conserve un aspect aréolaire. Cette condensation semble pénétrer dans la partie la plus postérieure du corps vertébral, à l'intérieur duquel elle se termine.

Le bord inférieur du pédicule est par contre très clair dans sa moitié antérieure.

Dans la région de l'isthme, c'est-à-dire sur ce cliché, à la jonction des apophyses articulaires et de la portion postérieure du pédicule, nous retrouvons la troisième zone de condensation qui caractérise le profil agrandi de la cinquième vertèbre lombaire.

Ces zones se divisent en une barre verticale supérieure, une barre verticale inférieure qui correspondent chacune aux deux articulaires supérieure et inférieure, et une barre horizontale qui fait la jonction entre les deux et représente l'isthme au sens radiologique du terme. C'est la zone de rupture des spondylolyses.

Coupes horizontales de la cinquième vertèbre lombaire.

Nous avons ensuite comparé des coupes horizontales de la cinquième vertèbre lombaire avec des coupes identiques que nous avons réalisées au niveau de la troisième.

L'allure générale du corps vertébral apparaît déjà très différente sur ce cliché (fig. 23). Nous nous trouvons en présence d'une cinquième lombaire que nous avons précédemment définie comme étant de type sacré.

Le corps vertébral est limité par une ligne compacte qui se prolonge latéralement en s'atténuant pour venir mourir sur les apophyses transverses.

La partie antérieure et centrale du corps vertébral apparaît formée de mailles creuses et très larges, il s'agit d'une zone particulièrement spongieuse où nous pouvons dire que les pressions seront très faibles, contrairement à ce qui se passe à la périphérie.

Par contre, au niveau des deux angles postéro-latéraux du corps vertébral, il existe toute une série de stries s'épanouissant en éventail dans la région centrale.

Elles partent de la plaque pédiculaire dont nous avons donné la définition dans l'étude de la troisième vertèbre lom-

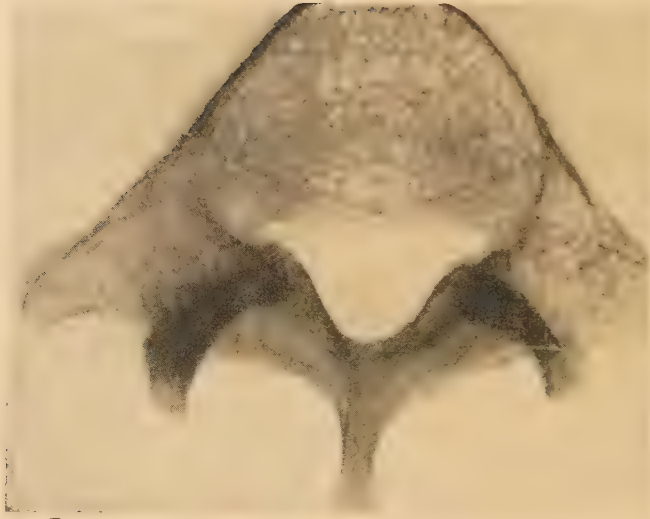


FIG. 23. — Vue supérieure de L5 montrant la densification articulaire.

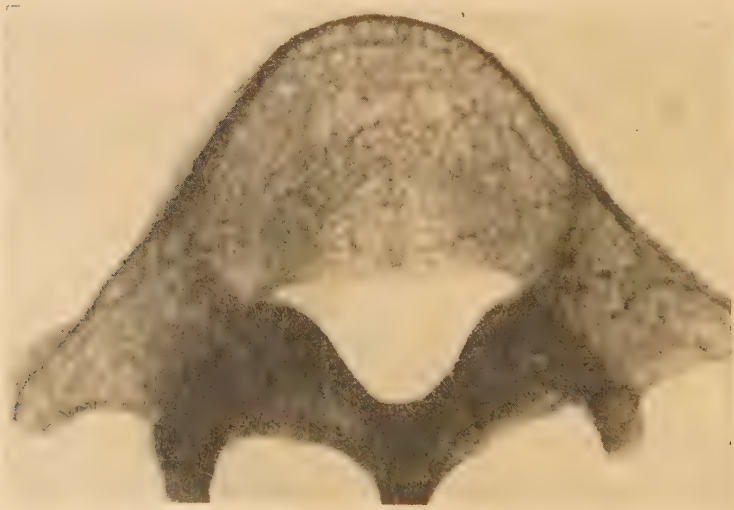


FIG. 24. — Vue supérieure de L5 montrant le mur pédiculaire.

baire. Cette plaque apparaît ici tendue transversalement de l'extrémité antérieure du canal rachidien à la jonction du corps et de l'apophyse transverse sur l'autre bord.

Ces deux faisceaux en écharpe se dirigent vers la ligne médiane sans toutefois s'y recroiser.

L'arc postérieur doit être maintenant envisagé.

Sa jonction avec le corps vertébral est totalement différente de celle de la troisième lombaire et nous y retrouvons là une morphologie du type sacré. Les apophyses transverses sont particulièrement transparentes et sont formées, comme le corps vertébral, d'un réseau à larges mailles.

Les apophyses articulaires d'une orientation frontale sont remarquables par l'intense condensation osseuse qui les caractérise. Il s'agit bien là d'une région essentielle de la statique et de la dynamique vertébrales, où vont s'accumuler les pressions transmises le long du rachis.

L'insertion de l'arc postérieur semble donc très différente entre L3 et L5, l'isthme est en continuité avec la plaque pédiculaire, alors que sur L3, le pédicule était très individualisé. L'apophyse transverse est également très différente sur les deux clichés (fig. 24). Sur L5, elle apparaît en continuité avec le corps vertébral et nous y voyons une ébauche d'un processus alaire au niveau de la vertèbre étudiée. Ceci signifie qu'un certain flux de pression va, au niveau de cette cinquième vertèbre lombaire, filer directement vers le bassin et les membres inférieurs sans passer par le sacrum, autrement dit cette pièce lombaire jouera dans une certaine mesure le rôle d'une pièce sacrée.

Du point de vue de l'architecture radiologique, nous retrouvons donc également la différenciation entre deux cinquième lombaire, l'une statique, l'autre cinétique, selon les caractéristiques que nous avons précisées dans les chapitres précédents.

ASPECTS PATHOLOGIQUES DE LA CINQUIEME VERTEBRE LOMBAIRE

LES LESIONS PAR SURCHARGE

a) Cadre des observations.

Les phénomènes pathologiques développés autour de la cinquième vertèbre lombaire sont aussi nombreux que variés.

Il ne saurait être question de faire le tour de toute la pathologie sous le prétexte de l'étude de cette vertèbre.

Bien entendu il existe à ce niveau des lésions vasculaires responsables par exemple d'angiomes vertébraux, de même les lésions infectieuses sont extrêmement variées et les spondylites spécifiques ou banales peuvent se localiser dans cette région.

L'atteinte de la cinquième vertèbre lombaire au cours du Mal de Pott est d'ailleurs relativement fréquente chez le vieillard. De même, les lésions parasitaires se retrouvent dans cette région, ainsi que certaines affections tumorales, dont l'exemple le plus classique est le chordome sacro-lombaire.

Notre but est essentiellement d'envisager la pathologie mécanique de cette région. L'étude anatomique que nous avons présentée avait pour but principal de comprendre la physiologie de cette région et d'essayer d'isoler les principaux types fonctionnels. Il semblait logique d'envisager sous le même angle un certain nombre de lésions dont l'origine ou les manifestations caractéristiques sont d'ordre mécanique.

Dans ces conditions, nous voudrions surtout nous efforcer de présenter une étude physio-pathologique de la cinquième vertèbre lombaire.

Nous envisagerons donc avec ces limitations et uniquement dans le cadre, certains processus pathologiques dont le déve-

loppement est caractéristique de la région lombo-sacrée et dont la pathogénie est en rapport avec des facteurs mécaniques.

La notion pathogénique qui constitue l'idée directrice et permet de regrouper ensemble les lésions telles que hernies discales, arthroses ménisco-somatiques, spondylolisthésis, est représentée par la localisation en regard de la V^e lombaire, ou plus exactement par la cinquième vertèbre lombaire, ou plus exactement par la concentration à ce niveau des pressions de toute l'extrémité supérieure du corps.

b) Rôle de la station érigée.

Le développement de ces pressions étant en rapport avec le mode de station et de locomotion qui caractérise l'homme.

Depuis longtemps on suppose que bien des troubles localisés dans la région lombaire sont le résultat de la station érigée et de la démarche bipédique. Ces caractéristiques s'étant localisées sur une anatomie dont les traits héréditaires sont strictement quadrupédiques.

Pour les anthropologistes, tel que Weidenreich, le passage à la station érigée représente d'ailleurs une étape critique dans l'évolution humaine et une condition nécessaire de l'évolution cérébrale terminale.

D'énormes, mais aussi de minutieuses transformations anatomiques furent nécessaires pour l'adaptation à cette nouvelle posture. Les modifications anatomiques apparurent avec de nouvelles fonctions imposées sur d'anciennes structures, bien que la position semi-érigée des signes brachi-moteurs puisse sembler une préadaptation posturale ayant préparé le chemin à la locomotion bipédique, l'addition d'une courbure supplémentaire lombaire fut nécessaire pour compléter cette modification.

L'apparition de cette courbure lombaire représente la modification qui a permis la démarche bipédique, l'homme étant le seul à posséder cette courbure.

Du point de vue squelettique, la morphologie de la région lombaire présente les caractéristiques héréditaires des mammifères quadrupédiques. Avec l'apparition de la station érigée l'allure générale demeure la même, mais il existe des modifications considérables dans les exigences fonctionnelles.

Notons que plusieurs auteurs ont recherché chez les mammifères l'existence de lésions lombaires comparables dans leur mécanisme et leur expression à celles que l'on rencontre chez l'homme ; ils n'en ont jamais retrouvé.

c) Définition de l'insuffisance lombaire.

Les troubles lombaires, l'insuffisance lombaire, si l'on peut dire, apparaît donc spécifique à l'homme.

D'ailleurs si les modifications structurales en rapport avec la station érigée sont typiquement humaines, elles sont loin d'être localisées à la seule région lombaire.

Un des exemples de l'adaptation à ce mode de locomotion est la plus grande longueur des membres inférieurs, de même certaines caractéristiques du pied, certaines modifications du bassin, de très nombreuses modifications dans la musculature, en particulier au niveau du grand fessier et du quadriceps fémoral.

Mais contrairement à ce qui s'est passé au niveau des os des membres et du crâne, la colonne vertébrale a subi peu de modifications en réponse aux exigences de la station érigée. Nous avons déjà signalé que les variations numériques du rachis sont relativement moins fréquentes chez l'homme que chez les autres primates. Ainsi l'apparition de la station érigée aurait été obtenue avec un minimum de modifications au niveau du rachis mis à part l'apparition de courbures.

Ceci semblerait être une des raisons de la fréquence des troubles vertébraux en rapport avec la station érigée et de leur localisation particulièrement fréquente au niveau du rachis lombaire.

En fait, la courbure lombaire se développe probablement de nouveau chez chaque individu durant la période de croissance et de nombreux éléments caractéristiques du rachis apparaissent sans doute en rapport avec les nécessités fonctionnelles plutôt qu'ils ne représentent des caractéristiques héréditaires.

Le rachis lombaire ne constitue pas la seule région qui présente des troubles en rapport avec la station érigée.

Weidenreich en 1940 montre que la station érigée est l'éle-

ment qui contribue au développement du tubercule externe du calcanéum. Morton en 1935 décrit d'importants troubles localisés au niveau du pied et dûs à une adaptation à ce mode de station. Callander en 1939 explique de la même façon les lésions du ménisque dans l'étiologie desquels on ne retrouve pas constamment un facteur traumatique indiscutable.

Watson Jones, puis Pauwels étudient les fractures du col. L'apparition de la courbure lombaire a eu pour conséquence l'existence de certains stress spécifiques à cette région. L'un des plus importants est une composante de cisaillements qui naît de la transmission des pressions le long du rachis. C'est certainement un facteur d'instabilité générale qui explique par exemple le glissement antérieur du corps vertébral survenant après rupture de l'arc neural.

Les forces qui se transmettent le long du rachis sont représentées par le poids total du sujet au-dessus du bassin, plus les différents éléments qu'il peut être en train de porter ou de soulever. Il peut s'exercer contre ces pressions une résistance due aux muscles de l'abdomen. Mais cette résistance est en général de courte durée et probablement de peu de valeur dans les cas où une charge est portée sur la tête ou sur les épaules.

Cependant la tension abdominale peut être d'une grande utilité dans les mouvements de soulèvement et lorsque la charge repose sur les membres supérieurs et se trouve dans un plan antérieur par rapport au corps.

Il est connu de longue date que tout affaiblissement de ces muscles abdominaux peut être une source de lombalgies.

ETUDE DES FORCES DE COMPRESSION AU NIVEAU DE LA COLONNE LOMBAIRE

Si l'on considère le poids d'une charge de 50 kg soulevée par les bras jusqu'à une position correspondant environ au milieu de l'abdomen, la distance entre le centre de gravité de la charge et la verticale passant par le disque L3-L4 est d'environ 35 cm. Ce disque a été choisi parce que sa direction est sensiblement horizontale.

Les muscles rachidiens profonds agissent à partir d'un point qui est à environ 5 cm en arrière du point d'appui du disque, c'est-à-dire de son centre. Dans ces conditions, la pression totale sur la surface du corps vertébral est de 400 kg ainsi répartis : 50 kg de charge que soutiennent 350 kg de tension musculaire. En plus, tous les muscles du tronc viennent se surajouter à la charge discale.

Ceci comporte donc également l'action du droit antérieur de l'abdomen, de même que celle moins importante du psoas. Les muscles latéraux du rachis qui exercent également une action stabilisatrice viennent additionner leur tension à cette charge, ils agissent en arrière du nucléus pulposus.

Ainsi tous les muscles rachidiens profonds contribuent à augmenter la pression s'exerçant sur le disque par leur action de compensation vis-à-vis des muscles antérieurs qui contribuent à assurer l'équilibre.

Le poids moyen au-dessus de L4 est d'environ 25 kg pour le corps. Le poids total de la masse abdominale repose en effet principalement sur le bassin. Le poids corporel au cours du soulèvement se trouve localisé à environ 10 cm en avant du disque considéré.

La somme des forces statiques est donc :

Compression par la charge	400 kgs
Compression discale par le poids du corps	<u>75 kgs</u>
Total	475 kgs

Rappelons qu'aux 25 kg du poids du corps, il faut ajouter les 50 kg des muscles postérieurs du rachis qui ont un effet stabilisateur. Ceci est vrai en équilibre statique. Si l'on considère en plus les phénomènes cinétiques, ces résultats doivent être facilement doublés.

On peut admettre que sur les deux derniers segments lombaires que nous étudions, il s'exerce au minimum une charge de 500 kg.

Ce chiffre est considérablement dépassé dans les mouvements rapides comme dans les traumatismes.

RESULTANTE DES CONTRAINTES AU NIVEAU DE LA CINQUIEME VERTEBRE LOMBAIRE

Si nous considérons l'angle du plateau sacré comme étant de 40° et l'angle de la face supérieure de L5 comme étant de 20° , il s'exerce alors une force de cisaillement considérable. Une charge de 500 kg, concentrée au niveau du disque intervertébral L3-L4, se transmettrait en principe le long de la colonne, de disque en disque et de vertèbre en vertèbre. Comme il existe une courbure au niveau de la colonne lombaire et comme les plateaux vertébraux ne sont plus dès lors parallèles, la force qui s'exerce n'est plus simplement une pression. Il existe une composante de cisaillement qui tend à faire glisser en avant le segment supérieur par rapport à l'inférieur.

Cette composante va augmenter lorsqu'augmentera l'inclinaison des surfaces par rapport à l'horizontale.

Si le plateau sacré était vertical, la totalité de la force que nous avons calculée, c'est-à-dire environ 500 kg, aboutirait à cisailer les dernières vertèbres lombaires.

Pour un angle de 40° on peut admettre que la composante de cisaillement est d'environ 320 kg, pour un angle de 20° elle est de 170 kg.

A mesure que l'angle augmente, la force de cisaillement augmente dans le même sens. Aucun nouveau muscle du ligament n'est apparu au niveau du rachis lombaire pour satisfaire au besoin de la station érigée et de la lordose lombaire.

Ainsi cette lordose entraîne des forces de cisaillement dont la compensation est très pauvrement assurée.

Toute tension dans les muscles lombaires va aboutir à augmenter cette force de cisaillement même en dehors de toute charge, simplement en station érigée.

DEFINITION DU COEFFICIENT DE SECURITE

La continuité osseuse qui empêche l'action des forces de cisaillement dans la région lombaire est représentée par l'isthme vertébral, c'est lui qui prévient le glissement de vertèbre en vertèbre jusqu'au sacrum.

Au cours des traumatismes du rachis, ce segment est généralement respecté, ce qui indique qu'il s'agit d'une partie particulièrement solide de la vertèbre.

On a calculé le facteur de sécurité ; à l'aide des formules de Koch, ce facteur de sécurité est de 4,2 (2.700 livres par cm² de force de cisaillement et comme la section de l'isthme est d'environ 1 cm², le calcul du coefficient de sécurité donne 2.700 divisé par 643, c'est-à-dire 4,2) ; ceci représente un coefficient de sécurité très satisfaisant.

Evans et Lisner en 1948 d'une part et d'autre part Evans, Lisner et Petersen, par la méthode du stress coat sur les os longs, ont étudié la survenue des fractures d'après les stress exercés. Au niveau de l'arc neural intact, sous l'effet des forces de cisaillement, il existe une pression considérable qui s'exerce sur le segment inférieur.

Ces pressions s'exercent d'ailleurs également sur le corps vertébral.

Toutes les forces que nous envisageons ici sont descendues le long du rachis uniquement par l'intermédiaire des corps vertébraux. Comme les corps vertébraux sont formés par de l'os spongieux et que les plateaux supérieur et inférieur sont d'une épaisseur très faible par rapport aux autres espèces, on comprend que les fractures se localisent surtout dans cette région.

Lorsque la continuité de l'arc postérieur est interrompue, la totalité de la force de cisaillement s'exerce sur les ligaments qui empêchent le glissement en avant de se produire.

Lorsque les possibilités de résistance de ces ligaments sont dépassées, le glissement se produit.

L'authenticité même de ce glissement était d'ailleurs discutée dans son existence. Hithcock en 1940 fut le premier à rapporter les observations prouvant que ce glissement existait bien. Depuis elles sont légions.

REACTIONS DISCALES AUX CONTRAINTES

La composante de cisaillement dans une colonne lombaire normale dont l'arc neural et les ligaments sont intacts se transforme en force de compression qui agit sur le disque.

Le centre de rotation de la colonne lombaire se situe au niveau des apophyses articulaires. La force de cisaillement agissant sur le corps vertébral tend à produire un mouvement de rotation qui comprime le disque sous-jacent.

Ainsi, au niveau de la colonne lombaire, le disque va également fonctionner en compression. Le disque aura à supporter l'ensemble des forces de pression transmises depuis le segment sus-jacent. Le centre du disque formé par un liquide incompressible ne résiste pas de façon élastique à cette pression. Entre le fœtus à terme et l'homme de 77 ans, la teneur en eau de ce centre décroît de 88 à 69 %, le taux moyen étant de 80 %, ainsi que l'ont montré les travaux de Eckert et Decker en 1947. La transmission élastique étant assurée par des ligaments, l'anneau fibreux et les ligaments jaunes qui entourent le nucléus pulposus.

Le disque apparaît ainsi comme la structure qui assure la distribution des forces, il transmet ces forces tout le long de la colonne et intervient dans la mobilité. Comme nous l'avons signalé, ces forces peuvent atteindre, voire dépasser 1.000 livres au niveau des vertèbres.

Thieme considère qu'il exerce une pression de 500 litres par pouce carré au niveau du disque, ce chiffre étant loin de représenter les valeurs maxima possibles.

En raison de la courbure lombaire, les surfaces vertébrales ne sont plus parallèles entre elles. Bien que les angles que forment les disques varient probablement selon la position et varient également d'un moment à l'autre, on peut cependant leur fixer une valeur moyenne. Ceci donne un angle de 10° pour le dernier disque et un angle de 5° pour le disque sus-jacent.

Pour un angle de 10° et une compression de 1.000 livres sur le disque, la force de propulsion antérieure sur l'ensemble du disque atteint 174 livres. Cependant, le nucléus pulposus semi-liquide transmet les forces agissant sur lui de façon égale et dans toutes les directions exactement comme le ferait un liquide. Autrement dit la hernie peut se produire en n'importe quelle zone où surviendra un relâchement de l'anneau qui entoure le nucléus et non seulement au niveau des régions antérieures.

TABLEAU II
Localisation des fractures vertébrales.

Localisation		Cas	Pourcentage
Cervicale	1	50	2,5
	2	95	4,7
	3		2,3
	4	110	5,5
	5	205	10,1
	6	250	12,4
	7	130	6,5
Thoracique	1	45	2,2
	2	25	1,3
	3	40	2,0
	4	45	2,3
	5	40	2,0
	6	36	1,8
	7	35	1,8
	8	30	1,5
	9	50	2,5
	10	70	3,5
	11	90	4,5
	12	195	9,7
Lombaire	1	205	10,1
	2	100	5,0
	3	40	2,0
	4	40	2,0
	5	25	1,2
Totaux		2.006	99,4

Il est important d'insister sur le fait que les forces qui agissent sur le disque s'exercent selon le principe de Pascal, c'est-à-dire sur un milieu liquide ou semi-liquide, autrement on comprendrait difficilement le pourcentage élevé de hernies postérieures.

La surface postérieure du corps vertébral n'est pas destinée à résister à des pressions particulièrement importantes.

Le ligament vertébral commun postérieur ne recouvre pas totalement la face postérieure du disque. D'autre part le nucléus est plus rapproché de la partie postérieure que de la partie antérieure. En coupe, le corps des vertèbres lombaires n'est pas strictement circulaire. Le canal rachidien présente une échancrure postérieure qui rend cette partie plus proche du centre du disque. L'anneau fibreux remplit la surface qui entoure le nucléus et est plus mince en arrière.

TOPOGRAPHIE DES FRACTURES DU RACHIS

Le fait que la région lombaire n'est pas une région particulièrement faible du rachis, mais une région sensibilisée par l'apparition de la courbure lombaire, est démontré par l'étude de la répartition des fractures le long du rachis.

Pourcentage total de localisation :

Cervical	44,0 %
Thoracique	34,1 %
Lombaire	20,3 %

Le tableau II que nous reproduisons est tiré d'un travail de Jefferson (1928) portant sur 2.006 cas de fractures du rachis.

Les conclusions de Ciccone et Richman (1948) qui ont étudié 3.000 fractures du rachis, sont identiques.

LES HERNIES DISCALES

FREQUENCE DES LESIONS

Le processus des hernies discales constitue une éventualité très fréquente : la hernie peut se faire dans des directions très diverses. La hernie est souvent verticale et se fait alors dans le corps vertébral sus ou sous-jacent.

Elle peut être latérale dans n'importe quelle direction à travers l'anneau fibreux circulaire qui entoure le nucléus pulposus. Mais pour des raisons anatomiques, la hernie discale latérale est dans la majorité des cas postérieure, elle se fait tantôt sur la ligne médiane, tantôt latéralement, c'est-à-dire soit vers le canal neural, soit vers le trou de conjugaison. Les premières descriptions semblent être de Wirschow en 1857, Goldwaite en 1911, puis Dandy en 1929 montrent l'origine discale de certains syndromes douloureux.

En France, en 1927, Petit-Dutaillis et Alajouanine rapportent la première observation de sciatique discale.

En 1929, une des plus importantes statistiques concernant les hernies discales postérieures est publiée sous la direction de Schmorl. En 1933, Mauric publie une thèse qui fera date sur la pathologie du disque intervertébral. En 1931, Beadle trouve 38 % de hernies discales sur une série de 3.000 rachis.

La localisation lombaire apparaît certainement la plus fréquente et l'étude de 739 cas de hernies discales donne la répartition topographique suivante :

— Région cervicale	1,4 %
— Région thoracique	1,4 %
— Région lombaire	97,0 %

PRODUCTION EXPERIMENTALE DES HERNIES DISCALES

Une opinion presque unanimement admise est donc que ces lésions discales relèvent d'une surcharge d'une inadaptation à certaines conditions fonctionnelles dont nous avons précisé les facteurs précédemment.

Lindblom, dans un travail expérimental récent, reprend l'étude de la dégénérescence discale, conséquence d'une surcharge de pressions.

Afin d'étudier l'augmentation de pression sur les disques intervertébraux, des queues de rats furent recourbées et immobilisées de façon à réaliser une image en U. La dégénérescence et même la rupture discale survint du côté concave de ces queues, alors que le côté concave demeurait intact. En aucun cas ce procédé expérimental n'avait entraîné de traumatisme grave, ce qui rend valable ce procédé expérimental.

L'examen microscopique des pièces révéla dans tous les cas des modifications de structure de l'anneau fibreux du côté concave, alors que sa structure sur le côté convexe ne présentait aucune modification par rapport aux autres régions de l'animal.

Du côté concave, la destruction portait sur le tissu de connexion avec diminution du nombre global des cellules. L'importance des modifications était variable, la variation dépendant de la durée de la période de fixation et du degré de courbure imposée. Une immobilisation de douze heures était beaucoup moins nocive qu'une fixation de plus longue durée. Une immobilisation prolongée entraînait la prolifération de tissu de connexion et même la production de tissu osseux, en plus de la rupture discale. Des zones présentant une production de tissu de granulation se retrouvaient également dans les régions voisines du disque. Dans le nucléus pulposus, on notait une augmentation de la vacuolisation des cellules dans les portions de courbure maximum du disque.

Sur trois disques on retrouve une destruction totale des cellules.

En conclusion, la dégénérescence et la rupture de l'anneau fibreux surviennent à la suite d'une hyperpression de longue durée sur le côté concave de la courbure des queues des animaux d'expérimentation. Le nucléus pulposus est également influencé par ces modifications de courbure, quoique de façon moins prononcée.

Sur le pourtour des lésions on peut noter la prolifération de tissu granuleux semblable à celle observée au niveau des hernies discales de l'homme.

Lindblom étudie ensuite les fissures de l'anneau fibreux qui précèdent à l'apparition d'une hernie discale et il constate que celles-ci prédominent dans les régions de courbure rachidienne maximum et en particulier dans la région lombaire. L'augmentation de la lordose lombaire réduit radiologiquement l'espace intervertébral L 5-S 1 et aboutit à une surcharge du disque lombo-sacré.

Ainsi les lésions discales paraissent en rapport avec des facteurs multiples dans lesquels il faut faire intervenir la déshydratation tissulaire, les processus dégénératifs et le surmenage tissulaire dû à la surcharge.

ETUDE RADIOLOGIQUE

a) La myélographie.

L'examen radiologique, la lecture directe d'une hernie discale postérieure n'est possible que lorsque la substance discale herniée s'est calcifiée ou ossifiée, ce qui d'ordinaire ne se produit que tardivement. Les ostéophytes marginaux postérieurs indiquent une lésion discale postérieure qu'ils peuvent contribuer à mettre en évidence.

Des signes radiologiques indirects, bien que ne constituant pas à eux seuls une preuve formelle des hernies discales, mais qui, associés à d'autres symptômes, en augmentent la probabilité, sont représentés par l'étude de la hauteur et du contour de l'espace intervertébral.

Les difficultés de l'exploration radiologique directe de ces lésions ont suscité l'apparition de nouvelles techniques de radio-diagnostic cliniques : la myélographie intradurale et la disco-radiculographie épidurale gazeuses ou au moyen de substances radio-opaques ont donné lieu à de nombreux travaux, de même la nucléographie clinique se propose de mettre en évidence les fissurations pathologiques du disque et leurs rapports avec l'espace épidural.

Une réserve est cependant faite en raison des dangers de la ponction de l'espace intervertébral.

Celle-ci peut provoquer un prolapsus discal partiel dans l'orifice de la ponction. Il se peut également que la pression du liquide injecté mobilise un prolapsus latent.

En 1948, de Sèze et Levergnieux proposaient la disco-radiculographie avec retrait du liquide opaque.

Cette épreuve étudiait la morphologie des disques intervertébraux et des culs-de-sac rachidiens en injectant dans le sac dural un liquide de contraste qui était retiré en fin d'examen.

Cette méthode dérivait de l'épreuve du lipiodol introduit par Sicard, Forestier et Laplane en 1923.

Si cette technique leur a rendu de grands services, les auteurs l'ont cependant abandonnée en raison des accidents d'intolérance observés avec les différents produits utilisés.

En 1952, ces mêmes auteurs ont proposé d'opacifier directement par la voie paravertébrale le nucléus pulposus.

Ils ont appelé cette technique la discographie.

La hernie discale postérieure contrôlée chirurgicalement leur a donné une ombre allongée, qui se prolonge en arrière au-delà du rebord postérieur des corps vertébraux, empiétant sur l'image du canal médullaire.

Les complications de la méthode sont cependant assez graves, puisque dans leur première série de malades ainsi explorés, ils ont observé une épidurite et trois discites. Récemment, J. Ecoffier publiait les résultats de l'exploration des disques intervertébraux par opacification du L.C.R. au moyen de contrastes résorbables.

Les aspects pathologiques sont représentés par une compression du sac avec image lacunaire latérale ou médiane, bien visible surtout en position oblique et créant une véritable encoche dans la colonne opaque.

Une déviation anormale de la direction des racines est souvent notée, ainsi qu'une amputation du fourreau de la racine au niveau du disque suspect. Enfin il est possible de noter un élargissement de l'image linéaire claire de la racine au moment où celle-ci aborde le disque, correspondant soit à un aplatissement de la racine, soit à un œdème. Ce signe est très important et bien visible en position oblique. Layani, Pertuiset et Metzger publient en 1957 des résultats encourageants de cette technique qui se serait révélée inoffensive entre leurs mains. Ils considèrent que la méthode est contre-indiquée chez les artério-scléreux et les coronariens, chez les hypertendus artériels, chez les asthmatiques, enfin chez les sujets dont la lésion se trouve cliniquement au-dessus de L.2 ou qui présentent une albuminose au-dessus de 1 gr.

b) Résultats.

Nous publions trois reproductions photographiques d'images normales (fig. 25, 26, 27) réalisées par cette technique et provenant du service du Pr. Petit-Dutaillis.

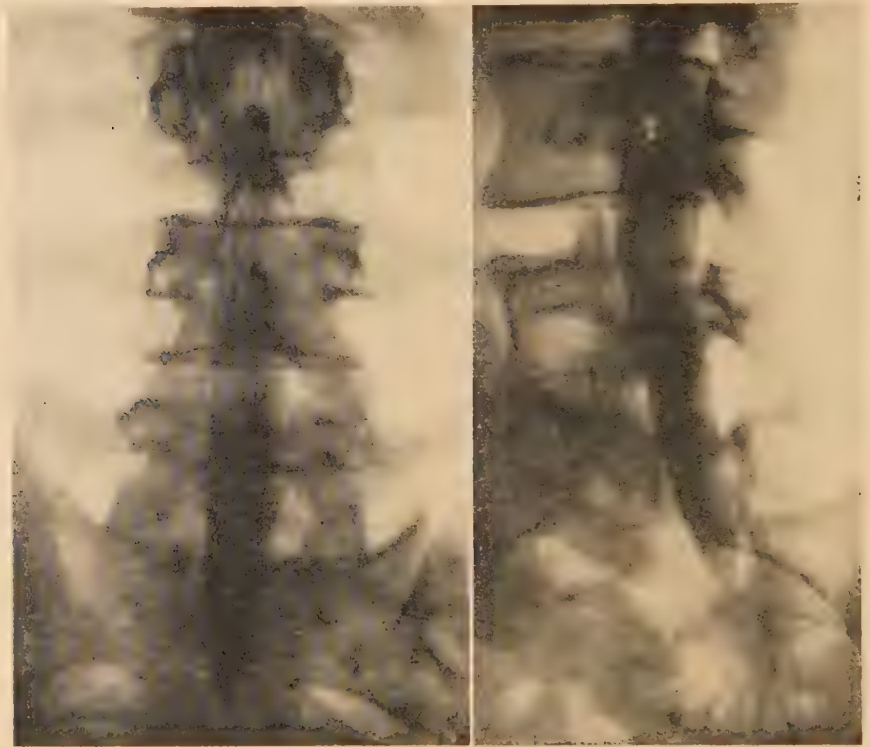


FIG. 25 à gauche. — Radiculographie lombaire après injection de méthiodal. Cliché de face, image normale.

FIG. 26 à droite. — Radiculographie lombaire après injection de méthiodal. Cliché de 3/4, image normale.



FIG. 27. — Radiculographie lombaire après injection de méthiodal. Cliché de profil, image normale.

LES ANOMALIES MORPHOLOGIQUES DE LA CINQUIEME LOMBAIRE

LE CADRE DES LOMBALGIES

L'étude des hernies discales nous a conduit à l'élément pathologique fondamental de cette région : la lombalgie.

Ce terme très vague en lui-même et dont il serait difficile de donner une définition exacte désigne une affection dont la fréquence n'est plus à rappeler. Hirsch, de Stockholm, considère que 65 % de la population suédoise souffre à des degrés divers de cette affection. Ces pourcentages se retrouvent à peu près identiques chez d'autres auteurs étrangers. Sans avancer de chiffres, on peut écrire que plus de la moitié des consultants d'un service de rhumatologie se plaignent de ce symptôme.

Or, c'est bien là le problème, puisque tantôt la lombalgie n'est que le symptôme révélateur d'une affection, tels que la hernie discale ou le spondylolisthesis que nous envisagerons plus loin, tantôt, au contraire, il n'existe aucune lésion organique, du moins évidente.

Déjà, lors de l'étude de l'innervation discale, nous avons discuté du mécanisme de production de la douleur et envisagé les différentes théories qui expliquent sa projection dans la région lombaire. L'époque est révolue où Dandy et Keys considéraient toute douleur lombaire comme en rapport avec une hernie discale.

Nous avons vu de même qu'il fut une époque où la mise en évidence d'une anomalie transitionnelle suffisait largement à expliquer toute lombalgie. Et pourtant, le problème de la lombalgie chronique reste toujours l'un des plus difficiles de la pratique neurologique et rhumatologique quotidienne.

Les lombalgies chroniques avec poussées aiguës représentent certainement les cas les plus difficiles. Dans une statistique de

2.000 cas de douleurs dorso-lombaires, émanant de la Mayo Clinic, on trouve 445 cas de lumbagos chroniques, dont 324 accompagnés de sciatique.

Cette forme de lombalgies chroniques, avec épisodes aigus intercurrents, est donc fréquente, si l'on considère en groupe les lombalgies et les lombo-sciatiques, car elles constituent plus d'un cinquième des cas.

Si l'on élimine les cas accompagnés de sciatique, la fréquence de ces formes diminue sensiblement. Dans cette même statistique, qu'étudie P. Castaigne, la sciatique existait 431 fois en tout.

Il y avait donc au total 1.569 cas de douleurs dorso-lombaires sans sciatique. Sur ce nombre, 121 malades seulement présentaient les symptômes de lumbagos chroniques à recrudescence successive permettant de suspecter un mécanisme discal, soit environ 8 %. Par conséquent, la pathologie discale franche qui joue un rôle si important dans l'étiologie des sciatiques, est au contraire assez effacée en matière de lombalgie chronique sans irradiation.

A ces lombalgies d'origine discale, certains opposent des lombalgies chroniques d'origine vertébrale.

Dans cette catégorie très arbitraire se rangent toutes les lombalgies chroniques relevant d'une cause vertébrale qu'il est possible de déceler soit cliniquement, soit radiologiquement.

Les étiologies de ces lombalgies sont très diverses et toutes les lésions rachidiennes ou intra-rachidiennes peuvent être en cause.

PATHOGENIE MECANIQUE DE L'ARTHROSE LOMBAIRE

Parmi les atteintes du rachis, l'arthrose lombaire, et tout particulièrement celle qui se développe autour de la cinquième vertèbre lombaire, mérite une place de premier plan.

Dans la série citée plus haut, ce diagnostic avait été porté 511 fois, et il s'agissait de lombalgie chronique et rebelle sans irradiation, la sciatique n'existant que dans 44 de ces cas.

Une des expressions les plus caractéristiques de cette arthrose lombaire est certainement l'ostéophytose vertébrale. Elle se développe dans un nombre considérable d'affections rachidiennes ; elle est susceptible d'atteindre les différents étages du rachis et elle semble, quant à sa répartition topographique, prédominer sur les zones où s'exercent le maximum d'efforts, tant statique que dynamique. La cinquième vertèbre lombaire est, sans aucun doute, l'une de ces zones de prédilection.

Un des points les plus intéressants de la pathogénie de l'ostéophyte est la théorie discale. Ceci nous ramènerait à l'origine discale des lombalgies.

Les lésions discales auraient ainsi deux modes d'expression pathologique : la hernie discale et l'arthrose lombaire. Cette théorie a été étudiée dans les travaux de La Chapelle, de Lacapère ; elle a fait l'objet de la thèse de Amoudruz.

Ce sont les recherches de Schmorl qui ont établi avec certitude l'origine discale de la spondylose déformante.

Mais contrairement à l'opinion qui était alors admise, Schmorl a démontré que seule la désinsertion d'une parcelle périphérique de l'anneau fibreux déclenche le mécanisme de la spondylose déformante et non la dégénérescence générale du disque. La destruction de l'anneau fibreux au point de son insertion à la bordure du plateau vertébral doit être considérée comme une variante particulièrement fréquente et caractéristique de dégénérescence discale, faisant partie du groupe des chondroses intervertébrales. Ce mécanisme serait, selon Schmorl, parfaitement en accord avec le fait que la répar-

tition inégale des charges et des pressions joue un rôle déterminant dans la production des ostéophytes et le développement de la spondylose déformante.

En effet, la désinsertion de l'anneau fibreux sans action statico-dynamique de la pesée rachidienne ne provoque que quelques productions ostéophytiques.

Gantenberg a montré que chez le travailleur de force, on assiste au développement d'une spondylose grave lorsque le surmenage permanent vient compliquer, en les aggravant, les lésions discales initiales. De même, le développement plus fréquent des ostéophytes du côté droit pourrait s'expliquer par la sollicitation, plus fréquente chez le droitier, du côté droit du corps.

Il est remarquable de noter que, même en cas d'ostéophytoses graves des bordures antérieures et latérales, la présence d'ostéophytes au niveau de la bordure postérieure, c'est-à-dire dans le canal vertébral, est très rare.

La situation du ligament postérieur peut expliquer ce fait curieux. Nous avons déjà montré que le ligament postérieur couvrant le corps vertébral en arrière n'est attaché à celui-ci que par quelques rares faisceaux, la masse du ligament s'insérant sur le disque intervertébral. Il est donc peu probable que les tiraillements anormaux dont le rôle est essentiel dans la production des ostéophytes puissent s'exercer sur le ligament postérieur. Il arrive cependant que des petites saillies ostéophytiques apparaissent à la paroi postérieure du corps vertébral et se projettent dans le canal vertébral.

Nous avons vu que ces productions pouvaient venir compliquer une hernie discale postérieure. La dislocation du disque et les tiraillements anormaux sur l'insertion de l'anneau fibreux sont les causes probables de ces proliférations ostéoplastiques réactionnelles. Lorsque le disque est complètement détruit, c'est alors le frottement des bordures vertébrales postérieures qui sera la cause de la formation d'ostéophytes.

Le disque L5 présente fréquemment cette disposition, car en raison de la configuration en coin à sommet postérieur de l'espace intervertébral, les vertèbres arrivent à se toucher en arrière, à la moindre altération discale.

Ainsi le rôle des pressions, l'importance des surcharges dans les déformations des rebords vertébraux nous semblent, là encore, indiscutables.

Il était intéressant d'envisager le mécanisme intime de ces déformations : est-ce que la pression exagérée peut entraîner une résorption calcique qui, selon la théorie de la mutation calcique, serait alors le facteur déclenchant d'une ossification des tissus voisins, ou bien la pression rend-elle les os plus résistants et plus denses, et dans ces conditions, les tissus mous intermédiaires, tels le disque et les plaques cartilagineuses, peuvent-ils simultanément disparaître ?

Pour d'autres, sous l'action des hyper-pressions résultant des surcharges statiques, l'os pourrait céder et il se produirait alors une bavure osseuse plus ou moins importante.

Nous verrons que les recherches de photo-élasticimétrie qui représentent la conclusion de ce travail pourraient venir éclairer d'un jour nouveau ces différents problèmes.

Un travail récent (mai 1957, de D. Allbrook) apparaît en accord avec ces données. L'auteur a examiné 206 colonnes vertébrales en recherchant la proportion d'ostéophytoses lombaires, en rapport avec l'âge et le sexe. Toutes les vertèbres dont le corps présentait un éperon de plus de 3 mm de long furent considérées comme ostéophytiques. Un certain nombre de pièces furent étudiées du point de vue histologique.

Enfin, une étude radiologique complémentaire fut pratiquée sur 25 hommes et 7 femmes, pris dans une consultation de médecine générale. Les radiographies furent pratiquées en position debout, puis en extension complète et en flexion complète. 20 de ces sujets ne présentaient aucun signe de lésion lombaire. 8 d'âge moyen se plaignaient de lombalgies chroniques et les radios ont révélé une ostéophytose caractéristique des vertèbres lombaires. Des sujets jeunes, au nombre de quatre, se plaignant de lumbagos aigus, ne présentaient aucune lésion osseuse. A partir des radiographies enfin, les mouvements partiels de chaque vertèbre furent étudiés.

Les résultats de cette étude sont parfaitement en accord avec les faits que nous énoncions précédemment. Le plus grand nombre d'ostéophytes fut retrouvé à la jonction des quatrième et cinquième vertèbre lombaire. D'autre part, l'étude radiologique montra que la plus grande amplitude des mouvements se localisait en regard de la quatrième et de la cinquième vertèbre lombaire, contrairement aux données classiques.

En raison du mode de station et de locomotion, nous avons

vu que la cinquième lombaire et toute la région de la charnière lombo-sacrée étaient soumises à des surcharges : déjà lorsque celles-ci s'adressaient à des éléments strictement normaux d'importants phénomènes pathologiques pouvaient survenir : la hernie discale et l'ostéophytose vertébrale nous en ont fournis les deux premiers exemples.

Mais on comprend que toute anomalie qui entraînera la plus infime modification statique de la région aboutira à un déséquilibre complet dans la répartition de ces pressions.

INSTABILITE LOMBAIRE PRIMITIVE OU PSEUDO-SPONDYLOLISTHESIS

Les conséquences pathologiques en seront alors d'autant augmentées. De Sèze et ses collaborateurs ont montré tout l'intérêt des différentes anomalies dans la production des algies vertébrales. Cela déborderait nettement le cadre de notre travail que d'envisager le retentissement d'un raccourcissement du membre inférieur ou d'une malformation du cotyle sur la physiologie de la charnière lombo-sacrée.

Mais l'étude de certaines malformations dont nous croyons avoir montré l'origine dans la détermination des différents types de cinquième lombaire entre indiscutablement dans le cadre de nos recherches.

Une des formes les plus intéressantes de ces anomalies statico-dynamiques est représentée par ce que P. Morgan et T. King (1957) ont appelé l'instabilité primitive des vertèbres lombaires et en particulier de la cinquième, et que ces auteurs considèrent comme une des causes les plus fréquentes des lombalgies.

Ceci rentre dans le cadre déjà décrit par Junghanns sous le nom de pseudo-spondylolisthesis, en raison de l'absence de toute lésion au niveau de l'arc postérieur.

Knutsson (1944) avait déjà montré l'importance de cette instabilité vertébrale par la pratique d'examen radiologique en flexion complète et en extension complète sur le sujet en position debout. Il constata ainsi que le glissement antéro-postérieur pouvait être mis en évidence bien avant l'apparition des autres signes de dégénérescence discale : c'est-à-dire, diminution de l'espace intervertébral, condensation des plateaux vertébraux, ostéophytose marginale. Cet auteur considérait que l'instabilité était en rapport avec une dégénérescence discale en voie de constitution.

Cette opinion fut confirmée par d'autres auteurs, en particulier : Friberg (1948), Lindblom (1948) et Harris et Magnab

(1954). Ils retrouvèrent à des examens répétés la coexistence de l'instabilité lombaire et d'une dégénérescence discale à son début, marquée par des fissurations incomplètes de l'anneau fibreux qui entoure le disque.

Cette instabilité primitive s'oppose à l'instabilité lombaire secondaire en rapport par exemple avec une lésion discale constituée, ou une malformation vertébrale.

Dès 1932, Schmorl et Junghanns rapportaient quatorze exemples de ce pseudo-spondylolisthesis, après examen de 600 rachis.

Le rachis ayant été sectionné selon un plan sagittal, des radiographies de profil étaient prises. Sur neuf de leurs spécimens, le listhésis existait entre L 4 et L 5. Dans tous les cas, il y avait déplacement antérieur de la vertèbre supérieure sur celle qui lui était immédiatement sous-jacente.

En 1953, Schmorl et Junghanns rajoutaient à cette série neuf exemples de pseudo-spondylolisthésis postérieur dans lequel le corps de la vertèbre sus-jacente avait glissé en arrière de la vertèbre sous-jacente.

Knutsson, en 1944, considérait que c'est dans ce sens que se fait le déplacement en cas d'instabilité lombaire.

Friberg, au cours de nécrops, prélevait le sacrum et la colonne lombaire, et immobilisant le sacrum, il étudiait sur des clichés radiographiques le comportement des différentes vertèbres en extension et en flexion totale. Après, il examinait les disques qu'il découpait selon un plan horizontal. Dans toutes les colonnes qui présentaient à la nécrops des signes d'instabilité lombaire, il retrouva les déchirures para-nucléaires, les désinsertions de l'anneau fibreux avec section des fibres de Sharpey, décrites par Schmorl.

Lindblom, en 1948, avait retrouvé ces lésions sur le vivant, par la méthode de discographie. Tous les auteurs insistent sur le fait que ces lésions discales sont incomplètes et qu'il n'existe, en aucun cas, de rupture totale de l'anneau fibreux : ainsi se trouve empêché le prolapsus du nucléus pulposus vers le canal rachidien, et l'on comprend que ces formes ne soient pas, en principe du moins, une forme préliminaire de hernie discale.

P. Morgan et P. King ont essayé d'isoler un syndrome clinique correspondant à ces lésions. Il s'agit, en général, d'hommes entre trente et quarante ans. Le début des troubles pourrait être aigu, il est en règle cependant progressif et l'interrogatoire retrouve

une longue histoire de lombalgies chroniques entrecoupées de poussées aiguës.

Des irradiations sciatiques ne sont pas exceptionnelles, elles peuvent être bilatérales, elles descendent rarement au-dessous du genou et ne présentent, en règle, aucune topographie radiculaire. A l'examen, on retrouve un endolorissement de la région lombaire. La lordose lombaire est normale, voire même exagérée et ce signe indique, de façon presque formelle, l'absence de hernie discale.

L'examen radiologique confirme l'intégrité de l'arc postérieur, qui ne présente aucun signe de lyse.

L'instabilité antéro-postérieure est révélée par des clichés sur le sujet debout, en flexion et en extension forcée. Il est important de noter que le glissement antéro-postérieur de la cinquième lombaire, même en cas de dégénérescence discale, ne peut avoir lieu, car l'orientation des apophyses articulaires du sacrum le prévient, du moins, tant que l'arc postérieur de la cinquième lombaire est intact.

Au contraire, l'orientation para-sagittale des apophyses articulaires supérieures de la cinquième lombaire et des apophyses correspondantes des vertèbres sus-jacentes rendra possible ce glissement. Ainsi, même lorsqu'il existe une très importante dégénérescence discale, l'instabilité primaire ne pourrait se localiser à la charnière lombo-sacrée que par subluxation des apophyses articulaires, d'origine arthrosique, par exemple, ou à moins que les facettes articulaires prennent également une orientation para-sagittale.

Dans nos recherches personnelles sur la première vertèbre sacrée, nous avons vu que cette éventualité n'était pas exceptionnelle et qu'il existait dans environ un tiers des cas de notre série, une telle orientation.

Le déplacement de la cinquième lombaire se fait alors en avant dans les mouvements de l'extension et en arrière dans les mouvements de flexion. La direction du déplacement est généralement inversée en ce qui concerne les vertèbres lombaires supérieures. La localisation la plus fréquente de cette instabilité se fait entre L4 et L5 et dans ces cas, le corps vertébral supérieur se déplace en arrière par rapport au corps vertébral sous-jacent dans les mouvements d'extension, et en avant dans les mouvements de flexion.

La raison pour laquelle la cinquième lombaire glisse sur le sacrum dans les mouvements d'extension en avant et non pas en arrière, tient à la conformation du disque et du plateau sacré à ce niveau.

En ce qui concerne les vertèbres supérieures, une marche d'escalier est généralement constatée sur les radios des vertèbres en cause. L'instabilité peut également être révélée en traçant les verticales passant par la face antérieure des corps vertébraux. L'instabilité existe lorsque les deux verticales limitant chaque corps vertébral sont déplacées les unes par rapport aux autres.

P. Morgan et K. Thomas publient une série de 500 malades présentant des lombo-sacralgies parmi lesquels 143 sujets, c'est-à-dire 28,6 %, présentaient des signes cliniques et radiologiques d'instabilité lombaire primitive.

Le traitement proposé est essentiellement le repos, associé au port du lombostat. Ce n'est que dans quelques cas très soigneusement triés que l'on pourra envisager la greffe vertébrale : ce fut le cas de trente patients de la série de ces auteurs ; chez 70 % des opérés toute douleur disparut et ils purent reprendre leur travail ; 13,3 % furent seulement améliorés, mais purent tout de même reprendre leur travail ; enfin, 16,7 % ne furent pas améliorés ou aggravés.

SCOLIOSE CONGENITALE

Classification.

Dans les chapitres précédents, nous avons vu que la moindre anomalie morphologique de la cinquième lombaire était responsable de déséquilibres statiques dont nous avons essayé d'analyser le retentissement physio-pathologique, non seulement sur la charnière lombo-sacrée, mais également sur l'ensemble du rachis. Il est des cas où ces conséquences sont particulièrement graves et intenses : c'est chez l'enfant où tout déséquilibre de la charnière lombo-sacrée est susceptible d'être à l'origine d'une scoliose particulièrement grave.

Encore faut-il envisager dans ce cadre deux catégories de faits : les anomalies que l'on pourrait presque qualifier de fonctionnelles, car les lésions vertébrales y sont minimes et passeraient facilement inaperçues, c'est le cas de l'observation de scoliose par sacralisation de L5 que nous publions : apparemment, la charnière lombo-sacrée était normale, en fait, les contrôles radiologiques ont montré que ce que l'on prenait pour une première vertèbre lombaire était une douzième vertèbre dorsale, comme en témoigne le rudiment de côte qu'elle porte, et que ce que l'on considérerait comme une première vertèbre sacrée était une cinquième lombaire sacralisée.

Mais ce n'est pas la sacralisation en elle-même qui est responsable de la scoliose, mais son caractère asymétrique, comme le montrent les clichés dont nous donnons la reproduction. A côté de ces troubles fonctionnels, avons-nous dit, il existe des formes où la scoliose est due à un véritable processus pathologique qui est venu interrompre le développement normal de la vertèbre. Nous en donnons en exemple une observation provenant du service de notre Maître, le Docteur Pierre Petit.

Dans leur remarquable rapport sur les scolioses évolutives en période de croissance, P. Stagnara et P. Queneau (1953) rappe-

laient que les déformations cunéiformes et les hémivertèbres étaient généralement responsables des formes graves de scolioses congénitales.

Ces malformations vertébrales ont été étudiées dans les travaux classiques de Putti, Huc, Mouchet, Røederer. Ces auteurs opposent les malformations mineures sans hémivertèbres aux malformations avec hémivertèbres.

Une asymétrie de la première vertèbre sacrée, la cunéiformisation de la cinquième lombaire, avec ou sans malformations des apophyses transverses et de l'arc postérieur, sont susceptibles d'entraîner la production de courbures avec déséquilibre latéral. Ces scolioses resteraient habituellement modérées et ne causeraient pas de problèmes en tant que déviations rachidiennes de croissance. Elles s'accompagneraient souvent d'un syndrome douloureux lombo-sacré précoce qui représente parfois leur manifestation révélatrice.

Les hémivertèbres de la partie basse du rachis lombaire aboutissent au contraire à des scolioses graves, car la compensation inférieure ne peut être qu'ébauchée au niveau du sacrum. Tout l'effort des réaligement rachidien doit se faire dans la courbure de compensation sus-jacente à la malformation principale. A ce niveau, des anomalies supplémentaires peuvent diminuer ou aggraver le déséquilibre rachidien.

Au début de l'évolution, l'alignement global du rachis est peu perturbé, mais il faut se garder de porter à cette époque un bon pronostic. En fin de croissance, la plupart de ces formes aboutissent à un déséquilibre latéral, d'une gravité extrême.

Les indications thérapeutiques sont très difficiles à formuler. Dans les scolioses congénitales, par anomalies asymétriques de la charnière lombo-sacrée, l'angulation latérale congénitale reste ce qu'elle est pendant toute la croissance.

Les troubles peuvent survenir, selon P. Stagnara et P. Queneau, soit du fait de l'évolution de la courbure de compensation sus-jacente : dans ces cas, les indications thérapeutiques ne sont pas très différentes de ce qu'elles sont pour les scolioses idiopathiques.

Les troubles peuvent également être dus aux entorses à répétition que crée le désordre sciatique de la charnière lombo-sacrée. Il est rare cependant que ces troubles deviennent douloureux pendant la période de croissance. Ce pourrait être une

indication d'arthrodèse qu'il faudrait réaliser en fin de croissance.

Dans quelques cas exceptionnels, l'angulation d'une cinquième lombaire peut s'accroître avec la croissance, comme si la dystrophie intéressait les zones mêmes d'accroissement de la vertèbre. On pourrait alors discuter une intervention d'ostéotomie vertébrale si l'angulation devenait considérable.

Dans les scolioses congénitales, par cinquième vertèbre cunéiforme, certains actes opératoires directs ont pu être réalisés.

Ainsi, Compère a publié en 1932 deux observations d'excisions d'hémivertèbres en traitement de scoliose congénitale.

SPONDYLOLYSE ET SPONDYLOLISTHESIS

FREQUENCE

La localisation d'un processus de fissuration entre les apophyses articulaires réalise une spondylolyse et constitue la lésion initiale qui permettra la survenue du spondylolisthesis. Il semble d'ailleurs que toute lyse ne s'accompagne pas forcément d'un glissement.

Les statistiques sur ce point diffèrent sensiblement. Russel, Congdon, citent une proportion de 50 spondylolisthésis pour 100 spondylolyses. De Sèze et Durieux n'ont vu que cinq cas de spondylolyses sans glissement vertébral. De toute façon, il semble bien que la lésion se localise avec un maximum de fréquence au niveau de la cinquième vertèbre lombaire. La statistique de Schmorl portant sur une série de 46 cas de spondylolisthésis observés à l'Institut d'Anatomie Pathologique de Dresde se répartissent du point de vue topographique de la façon suivante : 30 cas pour L 5, 15 cas pour L 4 et un cas pour L 3.

PATHOGENIE

Les opinions des différents auteurs sont très partagées quant à l'origine de cette lyse. Sicard s'est fait en France le défenseur de la théorie traumatique, la thèse de Gabriel Charles publiée en 1952 résume son opinion à ce sujet. Cette conception est très discutée par de nombreux auteurs et l'on cite toujours contre la théorie traumatique l'observation suivante d'Adkins. Il s'agissait d'un sujet qui, à la suite d'une chute d'une hauteur de 7 mètres, présentait sur les radios prises immédiatement après le traumatisme, l'image caractéristique d'un spondylolisthesis de L 5. L'intervention pratiquée dans les jours suivants ne montra aucun signe de fracture récente de l'isthme, mais au contraire des lésions d'allure ancienne et chronique.

A l'opposé, la théorie congénitale considère que la lyse a une malfaçon vertébrale d'origine embryologique.

En fait, bien des objections qui s'élèvent en face de cette pathogénie la rendent guère plus satisfaisante que la précédente.

Il est par contre un mode de constitution de cette lyse qui semblerait plus logique, c'est celui qui la considère comme due à une surcharge s'exerçant en une région où s'accumulent les contraintes dans la station érigée. La lyse représenterait alors un défaut d'adaptation à la marche bipédique. Nous montrerons plus loin que les recherches expérimentales de photo-élasticité nous ont permis sur des maquettes vertébrales de reproduire les ruptures dans la région exacte où apparaît la lyse dans les conditions habituelles. Ces observations expérimentales ont par ailleurs été confirmées par l'analyse des contraintes au niveau de la maquette vertébrale.

Il convient d'envisager maintenant les différents arguments permettant d'étayer cette conception.

En 1941, Willis rapportait que la spondylolyse s'observait dans toutes les espèces humaines, mais qu'il n'en existait pas

à sa connaissance d'observation chez le fœtus humain ou sur le rachis d'aucun autre vertébré, les travaux de Moodie comportaient des résultats identiques.

Lorsque l'on étudie une anomalie pouvant survenir au cours du développement d'un os, elle peut arbitrairement se localiser dans l'une des trois périodes suivantes :

- soit au moment de l'apparition des centres ostéogéniques ;
- soit au cours de la fusion finale de ces centres ;
- soit enfin comme la résultante de troubles survenus après la fusion.

Qu'il s'agisse là d'une anomalie congénitale ou non serait une notion sans grand intérêt, car la naissance ne représente pas en elle-même une étape fondamentale du développement osseux. Un fait particulièrement important est qu'il n'existe pas dans tous les cas rapportés de signes de réparation osseuse ou d'apparition de cal au niveau des lésions, chez l'adulte cette région est formée de tissu osseux extrêmement solide et en dehors des travaux de A. Sicard nous ne connaissons que d'exceptionnelles observations de fractures de cette région même après des traumatismes très violents. Enfin la bilatéralité des lésions représente en elle-même un facteur qui ne cadre pas avec une conception purement traumatique. Si nous étudions l'âge d'apparition des lésions nous retrouvons les faits suivants.

En 1932, Schmorl signalait deux observations de lyse chez des sujets respectivement âgés de 2 ans et de 2 ans 1/2 ; Friberg en 1939 rapportait un cas de 10 mois et Kleinberg, un cas de 17 mois. Les observations chez les enfants et chez les adolescents en fin de croissance sont extrêmement nombreuses ; par contre, chez le nourrisson il existe peu de cas publiés et il est possible qu'à ce stade l'affection soit totalement indolente et passe inaperçue.

Ceci conduit à supposer que la lyse peut survenir au moment de l'apparition des centres d'ossification dans le cartilage latéral de la vertèbre. Cependant, pour que cette explication soit valable, il faut qu'il existe deux centres d'ossification qui ne s'unissent pas. Il n'y a aucune preuve certaine de l'existence de ces deux centres.

Sans doute Rambaud et Renault les avaient-ils décrits en 1864. Hitchcock, reprenant en 1940 leur travail, considérait ces deux

centres comme des artefacts dus aux imperfections de la méthode utilisée. Cependant certains auteurs, tels que Cunningham, Morris, Keibal et Mall, rapportent que dans certains cas il peut exister au niveau de chaque partie latérale de la cinquième vertèbre lombaire deux centres d'ossification. Willis pense qu'une telle affirmation repose sur des bases très peu solides.

En 1896, Mall, étudiant 60 embryons de moins de 100 jours, n'avait jamais trouvé deux centres, pas plus que Bardeen en 1905 ou Chandler en 1931.

Batts, en 1939, examinant 200 embryons de trois à neuf mois, ne trouve à aucun moment de double centre.

Hitchcock aboutit aux mêmes conclusions en 1940 sur une série de 90 embryons.

Ainsi, sur quatre séries totalisant 369 embryons, tous examinés dans le même but, il n'a été trouvé à aucun moment de double centre.

Il semblerait donc que la lyse n'apparaîtrait pas avant la naissance, mais chez le nourrisson ou dans la première enfance. Il est très important de remarquer que le développement de la courbure lombaire et l'apparition de la station érigée se situent exactement au même moment.

La courbure apparaît au moment où l'enfant commence à marcher. Ainsi les tensions qui apparaissent dans cette région du fait de la courbure lombaire fournissent une très bonne explication de la lyse.

Hitchcock, en 1940, a réalisé une série d'expériences sur des enfants mort-nés ou sur des cadavres de nourrissons. En hyperflexion il fut très facile d'obtenir une rupture de l'isthme uni ou bilatérale ; la forme très spéciale du centre d'ossification expliquerait que la rupture se produise au niveau de l'isthme des segments lombaires inférieurs. En hyperextension le ligament vertébral commun antérieur se rompt avant l'isthme.

On peut donc supposer que les stress qui s'exercent sur cette région peuvent, en dehors de tout traumatisme localisé, être à l'origine de la lyse.

Il resterait à expliquer pourquoi les lésions ne se réparent pas. D'après Weinmann et Sicher, l'apparition d'un cal osseux dépend de l'existence d'un large canal médullaire. Lorsque celui-ci manque comme dans les os plats et en l'absence d'une masse importante de tissu spongieux, le cal ne se forme pas.

D'ailleurs la mobilité des fragments et l'existence de forces de cisaillement au niveau de la fracture empêchent l'apparition des processus de réparation osseuse, quelle que soit la nature de l'os, les exemples ne manquent pas en traumatologie courante.

La fréquence de l'association à la spondylolyse d'un spina bifida, de sacralisations ou d'autres malformations de la charnière, montrent qu'il existe dans cette région d'importants troubles de l'ostéogénèse qui vont aboutir à différents types de troubles statiques.

L'apparition d'une courbure lombaire sur un segment dont tous les caractères héréditaires sont ceux d'une région sans courbure est certainement à l'origine de multiples désordres par inadaptation mécanique des pièces aux efforts qui leur sont demandés.

A la naissance, le corps des vertèbres est identique dans sa forme, quel que soit le segment considéré, chez l'adulte il existe d'énormes différences entre les vertèbres thoraciques, les vertèbres lombaires et les vertèbres cervicales. Nous avons vu que la forme en coin des vertèbres lombaires représentait un essai d'adaptation à la station érigée : mais c'est durant l'enfance que surviendront les stress maximum sur un corps vertébral relativement peu solide et encore peu adapté par sa forme.

LE BLOCAGE DE LA CINQUIEME LOMBAIRE

Nous avons vu que le moindre déséquilibre de la cinquième lombaire, que la moindre instabilité de cette vertèbre était susceptible d'entraîner des désordres très importants aux conséquences pathologiques très marquées.

On comprend dès lors qu'un des premiers remèdes qui eut été opposé à ces différents troubles ait été le blocage de la région lombo-sacrée.

L'extrême variété des méthodes permettant de l'obtenir vient malheureusement témoigner de leur relative imperfection à des degrés divers.

ETUDE DES LOMBOSTATS

Le problème de la fixation externe de la partie inférieure du rachis est le problème de l'immobilisation d'une tige squelettique flexible à chaque bout de laquelle s'attache un anneau osseux : le thorax et le bassin.

La réalisation d'un lombostat suppose donc la fabrication de deux pièces qui prendront appui sur les anneaux supérieur et inférieur et entre lesquels seront tendues les barres rigides destinées à assurer l'immobilisation.

Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature récente d'étude détaillée des différents types de lombostats, mis à part un article de janvier 1957 de P. Notton et T. Brown.

Ces auteurs ont mis au point une technique qui, par l'utilisation de jauges de contrainte, leur permet de préciser la valeur des différents efforts développés au niveau d'une colonne lombaire.

En exposant plus loin nos dernières recherches expérimentales qui représentent la conclusion de ce travail, nous aurons l'occasion de montrer que la méthode que nous avons utilisée vise le même but.

Considérant la méthode purement radiologique comme insuffisante, sinon dangereuse pour l'étude des mouvements du rachis lombaire, les auteurs ont mis au point une technique qui consiste à enfoncer des broches de Kirschner dans les apophyses épineuses des vertèbres lombaires et dans les épines iliaques postéro-supérieures. Ils mesurent ensuite les angles que font entre elles, selon les différentes positions, ces broches.

Cet examen est complété par la prise de clichés photographiques, ainsi que par l'enregistrement cinématographique.

D'autre part, avec la collaboration des ingénieurs de l'Institut de Technologie de Massachusetts, ils mirent au point une technique leur permettant d'enregistrer les différences à l'aide de jauges électriques.

Résultats.

Les appareils bien fixés au thorax, mais mal attachés au bassin, ont pour effet d'entraîner une concentration de pression dans la région thoraco-lombaire, au cours des mouvements de flexion. En même temps, la partie inférieure de l'appareil glisse sur la région sacrée, laissant la charnière lombo-sacrée sans soutien.

Au contraire, dans les appareils avec peu ou pas de fixation thoracique, mais avec une bonne fixation pelvienne, il n'existe aucune tendance de l'appareil à remonter vers le haut, et la charnière lombo-sacrée apparaît bien bloquée.

Les auteurs ont ainsi eu la surprise, au cours de l'étude radiologique sur l'amplitude des mouvements, de constater que certains lombostats semblaient augmenter cette amplitude dans la région lombo-sacrée. Cet effet serait en rapport avec la concentration des forces dans la région thoraco-lombaire ; la limitation de la flexion dans cette région entraînerait probablement une augmentation compensatrice dans la partie inférieure.

Ils purent ainsi enregistrer des augmentations allant jusqu'à 30° sur des sujets porteurs de certains types de lombostats. Bien entendu, ces études ont été pratiquées sur des volontaires dont le rachis était normal. Ils se sont ainsi efforcés de déterminer les différentes modalités de flexion et d'extension. Selon les sujets, le même mouvement n'intéresse pas la même partie de la colonne lombaire.

Ces conclusions juste esquissées, rejoignent certaines considérations que nous avons présentées dans l'étude anatomique de la cinquième lombaire : nous croyons avoir montré qu'il existait deux types de cinquième vertèbre lombaire que conventionnellement nous avons appelée statique ou cinétique.

Dans ces conditions, nous avons également essayé, dans les chapitres précédents, de montrer les différentes modalités possibles du fonctionnement du rachis lombaire.

Rappelons par ailleurs qu'une des conclusions les plus importantes de ce travail est la suivante :

C'est non seulement en position debout, mais également en position assise, que l'on peut observer une très forte accumulation des contraintes dans la région lombo-sacrée, cette constatation venant confirmer la notion des surcharges dues à l'apparition de la courbure lombaire.

LES ARTHRODESES LOMBO-SACREES

Les difficultés à réaliser les fixations internes de la région lombo-sacrée sont connues de longue date. Les statistiques de greffes portant sur la région lombo-sacrée révèlent un pourcentage assez important de pseudarthroses, pourcentage qui est au-dessous de la vérité, comme le montrent les réinterventions.

Par ailleurs, il n'est pas rare de voir, à l'occasion d'un effort violent, surtout en flexion, une désunion ou une fracture du greffon. Sans compter que le blocage osseux est loin de toujours atteindre son but en matière de lombalgie. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

a) Les arthrodèses antérieures.

Pour bloquer la charnière lombo-sacrée, deux méthodes ont été décrites depuis longtemps : les arthrodèses par voie antérieure et les arthrodèses par voie postérieure.

Les arthrodèses par voie antérieure se proposent de réaliser le blocage au niveau de deux corps vertébraux, ou bien de la face inférieure de L5 et du plateau sacré.

La première variété possible en est la greffe intersomatique. Celle-ci suppose un évidement soigneux du disque, un avivement des plateaux vertébraux, avec mise en place d'un greffon iliaque, en général.

Cette greffe peut être réalisée par abord antérieur ou postérieur.

Wiltberger (1957) en propose une technique personnelle.

En accord avec Adkins, il confirme le fait que la greffe intersomatique, telle qu'elle est réalisée par les techniques habituelles, si elle permet d'obtenir une certaine ankylose fibreuse, est incapable de réaliser une véritable arthrodèse osseuse au sens littéral du terme. Il propose donc une technique qui réalise un véritable enchevillement intervertébral.

Il a été opéré de la sorte 68 malades par voie postérieure, et il a obtenu près de 70 % de bons résultats, notamment en ce qui concerne l'interligne lombo-sacré. Cette technique suppose le prélèvement de chevilles (Dowel), soit au niveau de l'os iliaque, soit au niveau du tibia ; ces chevilles sont introduites en force dans des canaux creusés sur les faces correspondantes des corps vertébraux, grâce à une instrumentation spéciale imaginée par l'auteur.

Une telle technique aurait l'avantage majeur de travailler en compression, ce qui favoriserait à son niveau les processus d'ostéogénèse et aboutirait, par conséquent, à une véritable arthrodèse. Cette technique est toujours réalisable, à l'inverse des arthrodèses postérieures, même lorsque les éléments de l'arc postérieur ont été reséqués pour des raisons variables. Si le principe de l'intervention apparaît très séduisant, sa réalisation technique soulève, de l'avis de tous ceux qui l'ont essayé, de très grosses difficultés, les plus importantes sont représentées par le danger de blessure radiculaire ou médullaire ; l'auteur lui-même en a observé un certain nombre de cas.

D'autres modalités de greffes antérieures ont été proposées. Depuis les travaux de Capener et les publications de Merle d'Aubigné, on a décrit des techniques basées sur la fixation de la cinquième vertèbre lombaire au sacrum par un greffon ou par une vis enfoncée d'avant en arrière, et de haut en bas.

Une certaine méfiance entoure cependant ces réalisations en raison des dangers de blessure de la queue de cheval qu'elles comportent. Récemment, Sicard (1956) a rapporté 27 cas d'arthrodèses lombo-sacrées antérieures, par greffon encastré. Du point de vue mécanique pur, cette technique est particulièrement séduisante, mais elle comporte également un très gros danger vasculaire.

D'autre part, si de tels montages bloquent efficacement l'interligne L5/S 1, il ne saurait être question, du moins dans l'état actuel des techniques, d'agir également sur les espaces sus-jacents. Or, nous avons déjà vu que ceux-ci intervenaient aussi bien du point de vue physiologique que pathologique dans les différents mouvements comme dans les différents phénomènes douloureux observés dans cette région.

b) Les arthrodèses postérieures.

Elles intéressent la partie réellement active de la vertèbre ; l'arc postérieur est, en effet, le centre des principaux mouvements, le point de départ de la plupart des phénomènes douloureux, la zone où se développent les contraintes les plus élevées. Il est donc logique de faire porter le blocage à son niveau. d'autant que ce blocage peut remonter plus ou moins haut le long de la colonne lombaire, et assurer une immobilisation réellement efficace de la charnière lombo-sacrée.

Les techniques d'arthrodèse postérieure sont, elles aussi, très variées, et cette prolifération prouve bien la difficulté qu'il y a à réaliser la fusion d'une façon certaine.

Nous n'entrerons pas dans le détail des différentes variétés qui s'étendent de la greffe d'Albee à la technique de Basworth, dont Merle d'Aubigné et Debeyre ont donné chacun des variantes personnelles.

Régulièrement, des publications nouvelles apportent des variantes nouvelles à ces méthodes, tels R. Judet et J. Judet, qui proposent en 1954 les greffes para-épineuses vissées, ou Sicard qui décrit une nouvelle modalité d'arthrodèse postérieure utilisant deux plans de greffons rigides. Sicard insiste d'ailleurs sur le fait que l'arthrodèse doit supprimer les mouvements des deux dernières vertèbres lombaires sur le sacrum.

Selon lui, le blocage isolé de la cinquième lombaire serait, en général, insuffisant et contraire au mécanisme même de la charnière. En effet, dans les mouvements de flexion et d'extension, il considère que la vertèbre mobile est L 5, et le disque charnière L 5/S 1. Mais dans les mouvements de latéralité et de torsion, la cinquième vertèbre lombaire resterait fixée aux ailes iliaques par les ligaments iléo-lombaires.

Ce serait alors la quatrième lombaire qui pivoterait, et le disque charnière serait L 4/L 5.

Dans le cadre de notre travail, un des points les plus importants à préciser était les conditions mécaniques dans lesquelles se trouvaient les greffes dans la région lombo-sacrée. Les recherches de photoélasticismétrie nous ont apporté des résultats particulièrement intéressants que nous exposerons plus loin.

Herbert avait d'ailleurs, dans des publications ultérieures,

calculé directement les contraintes mécaniques dont le siège était la région lombo-sacrée. Il considère que chez un sujet normal, le centre de gravité est toujours en avant de la colonne vertébrale, et que la chute en avant est évitée grâce à la tension des muscles postérieurs. Selon cette conception, le nucleus serait le centre de répartition des mouvements et des forces. Ceci lui permettrait de calculer la résultante générale des forces.

Sur un sujet en position verticale, les contraintes au niveau du disque L 4/L 5 seraient sur le nucleus de 15,6 kg par cm², avec une tension dans les muscles postérieurs de 1,72 kg par cm².

Lorsque le sujet fléchit en avant par suite de la modification des bras de levier, la pression sur le nucleus part à 41 kg/cm² et la tension dans les muscles à 8,25 kg par cm².

Avec surcharge, ces chiffres se modifient profondément. Si par exemple le sujet soulève un poids de 100 kg, la pression sur le nucleus atteint 144 kg/cm² et la tension postérieure 30 kg/cm². Ces chiffres sont valables pour le disque L 4/L 5, et sont nettement plus élevés pour le disque lombo-sacré.

Il était intéressant d'envisager ce que devenaient ces pressions chez un sujet porteur d'une greffe. Trois éventualités étaient à considérer :

- greffe placée à l'extrémité postérieure des apophyses épineuses (type Albee) ;
- greffe placée entre les apophyses épineuses à égale distance des lames et de l'épine (type Bosworth) ;
- greffe déposée sur les lames et comportant un greffon de chaque côté.

Dans le premier cas, nous avons en position verticale normale : une pression sur le nucléus de 93,3 kg et une tension postérieure sur la greffe de 44,2 kg.

En admettant que la section de cette greffe soit de 1 cm², le chiffre reste de 44,2 kg/cm², chiffre déjà très élevé. Mais si le sujet fléchit en avant, les chiffres deviennent, pour la compression sur le nucléus, 255 kg, et pour la tension dans la greffe, 235 kg.

Chiffres énormes qui amèneraient inévitablement la rupture de la greffe ; c'est pourquoi le sujet ne se fléchit jamais complètement en avant.

Dans le deuxième cas, la greffe est placée plus en avant, entre les épineuses ; les chiffres augmentent encore, puisque le bras de levier diminue. En position verticale, la tension postérieure est de 56 kg. et en flexion, de 272 kg dans les mêmes conditions.

Enfin, si la greffe est sur les lames, la tension dans la greffe devient en position verticale de 62,4 kg et en flexion, 338 kg.

On voit donc que plus la greffe se rapproche des lames, plus mauvaises sont les conditions mécaniques, car le bras du levier diminuant, la tension postérieure augmente, conformément aux données expérimentales et théoriques bien connues.

Si l'on veut réduire la tension dans la greffe, il faut la placer le plus près possible de l'extrémité postérieure, mais alors les conditions biologiques sont peut-être moins bonnes.

Ainsi donc, la seule greffe logique rationnelle est la greffe des corps vertébraux, puisque les contraintes sont en pression et dans ce cas, l'immobilisation n'est pas indispensable, et l'on peut faire marcher le malade très tôt.

La greffe postérieure est toujours dans de mauvaises conditions mécaniques. La moins mauvaise est la greffe d'Albee, mais elle nécessite une condition bien connue : c'est l'immobilité prolongée qui supprime toutes les tensions.

Nos conclusions sont identiques, et la technique expérimentale que nous rapportons montre que plus on rapproche un greffon des lames, plus on augmente les contraintes dans la région isthmique.

Il est indispensable que les conditions mécaniques ne résument pas toute la physiologie d'une greffe, et qu'il faut également faire intervenir des facteurs biologiques. Si une telle conception était exacte, elle devrait se vérifier par le contrôle des multiples observations d'arthrodèses lombo-sacrées existant dans la littérature.

Nous ne connaissons pas d'observations jusqu'à la publication par C. Anderson d'un cas de spondylolisthésis consécutif à une arthrodèse lombo-sacrée, faisant état d'une observation identique de Unander-Scharin.

L'observation de Unander-Scharin (1950) porte sur une lyse survenue au niveau de la troisième vertèbre lombaire antérieurement normale, cinq ans après une greffe lombo-sacrée pour lombalgie avec dégénérescence discale.

L'observation de C.E. Anderson rapporte le cas d'une femme

de trente-six ans venue consulter à la suite d'épisodes multiples et récidivants de lombalgies. Des radios pratiquées à cette époque ne montrent que quelques signes très discrets d'ostéophytose vertébrale. Le repos, les massages, le lombostat sont sans aucun effet. Une myélographie au pantopaque permet de mettre en évidence une hernie discale de L 5/S 1. L'exploration des espaces supérieurs les montre normaux. L'intervention est terminée par une greffe lombo-sacrée, selon la technique de Hibbs. Une radio de contrôle pratiquée six mois après montra une bonne prise de la greffe et la malade reprit ses occupations habituelles, sans aucune douleur pendant deux ans.

Trente mois après cette intervention, les lombosacralgies firent pour la première fois leur réapparition. Les radios pratiquées à cette époque montrèrent une fusion solide de l'espace lombo-sacré, et l'existence d'une lyse du côté droit de l'isthme de la quatrième vertèbre lombaire. Cette image n'existait sur aucun des clichés pratiqués antérieurement. De nouveaux contrôles radiologiques réalisés un mois plus tard montrèrent que cette lyse était bilatérale.

L'étiologie de cette lyse n'est pas connue, mais les auteurs considèrent qu'elle pourrait être en rapport avec les stress anormaux survenus à la suite du blocage de la charnière lombo-sacrée. Le traumatisme opératoire ne saurait être retenu, car la région de l'isthme ne fut pas touchée au cours de la cure de la hernie discale, et il n'y eut aucune ressection osseuse au niveau de l'arc postérieur.

Ces deux observations présentent donc une importance considérable en ce qui concerne le développement des contraintes dans la région isthmique à la suite des greffes.

ETUDE PHOTOELASTICIMETRIQUE

INTRODUCTION

Depuis les travaux de H. Meyer et de J. Wolff, il est admis que la structure osseuse reflète par son organisation interne les différentes forces qui s'exercent à son niveau.

L'analyse de ces forces permettrait donc de déterminer l'architecture fonctionnelle d'un os replacé dans ses conditions mécaniques, que celles-ci soient physiologiques ou éventuellement pathologiques.

Les problèmes de statique et de cinématique rachidiennes sont d'une extraordinaire complexité. L'étude des différentes forces s'exerçant au niveau d'un segment rachidien mobile présente de très grandes difficultés.

La détermination des éléments en présence, c'est-à-dire simplement l'établissement des données du problème, est loin d'être aisée. Ceci est lié au fait que le rôle exact des muscles, des ligaments et des pièces articulaires en présence est relativement mal connu.

Les méthodes susceptibles d'étudier ces différentes forces sont également très variables.

Au premier rang, la radiologie fournit des renseignements de grande valeur, car elle étudie directement l'élément considéré, elle est cependant insuffisante pour préciser les variations qui sont parfois en deça des limites de visibilité radiologique et surtout qui sont susceptibles de n'apparaître qu'après une période d'évolution très longue.

La fonction du squelette, et en particulier celle du rachis est une fonction essentiellement mécanique, il paraît donc naturel de vouloir résoudre certains des problèmes posés, en termes purement mécaniques et en utilisant les techniques propres à cette science. Il ne faut cependant pas oublier que le substratum de cette fonction est un élément biologique n'ayant que des

rapports lointains avec les matériaux dont s'occupe la mécanique.

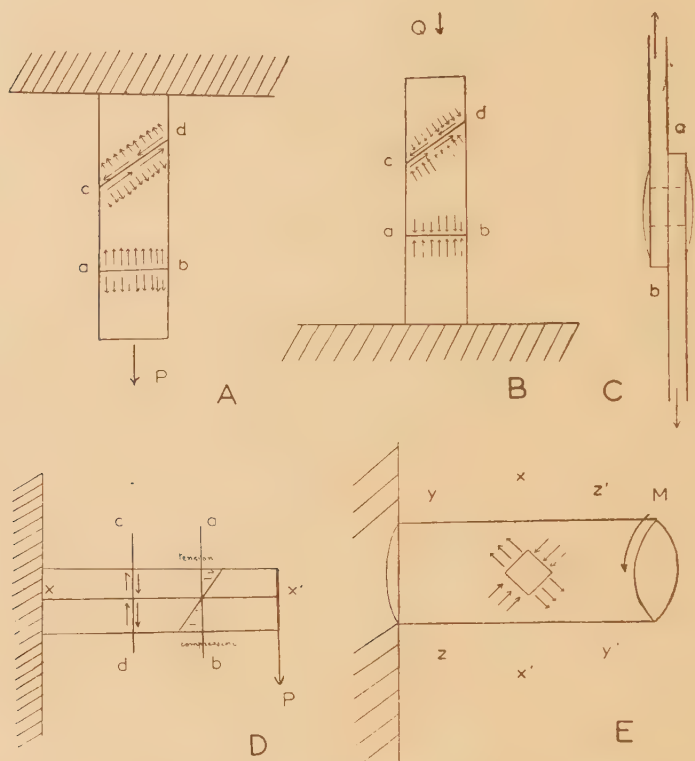


FIG. 28. — A : Exemple de sollicitation en tension. Contraintes de tension en a b. Contraintes de tension et de cisaillement en c d.

B : Exemple de sollicitation en compression. Contraintes de compression en a b. Contraintes de compression et de cisaillement en c d.

C : Exemple de sollicitation en cisaillement. Contraintes de cisaillement en a b.

D : Exemple de sollicitation en flexion. Contraintes de tension des fibres au dessus de $x x'$. Contraintes de compression au-dessous de $x x'$. Contraintes de cisaillement dans toutes les sections.

E : Exemples de sollicitations en torsion. Contraintes de compression suivant $z z'$. Contraintes de tension suivant $y y'$. Contraintes de cisaillement suivant $x x'$.

Pour ces raisons, les conclusions ne peuvent avoir qu'une valeur limitée et il faut savoir se garder des extrapolations hâtives. C'est dans cet esprit que nous avons essayé de mettre

en pratique la méthode photoélasticimétrique dans le cas particulier d'un rachis lombaire.

Si au départ nous n'avions aucune notion des possibilités de la méthode, car elle n'a pour ainsi dire jamais été appliquée

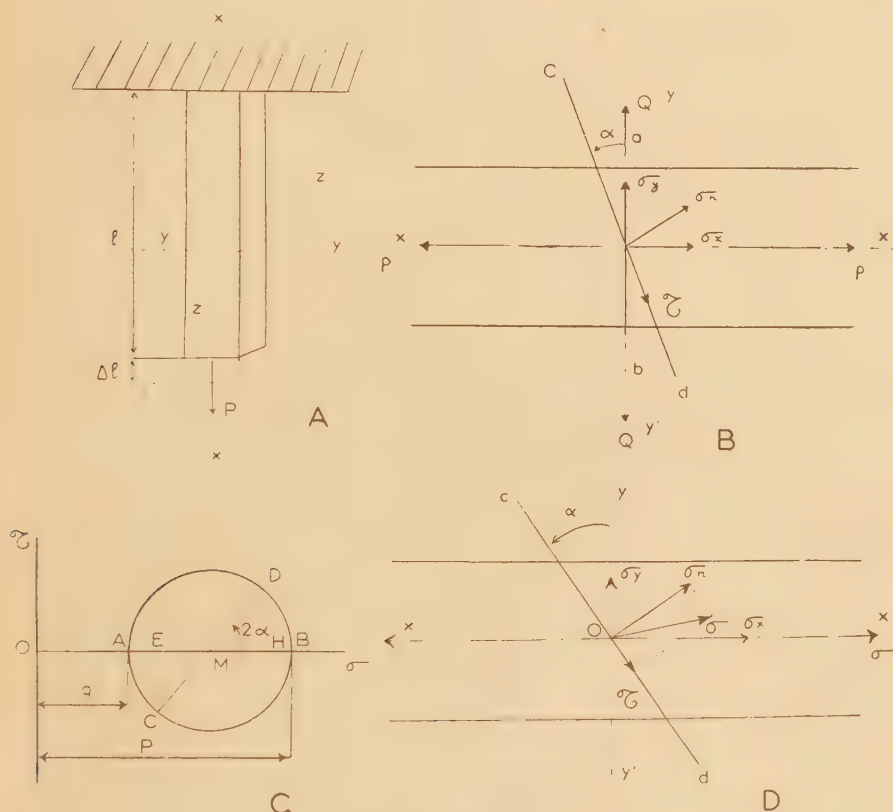


Fig. 29. -- A : Relation, contraintes, déformations.

B : Etude d'un état de contraintes bi-dimensionnel.

C : Cercle de Mohr.

D : Détermination de l'ellipse des contraintes.

aux recherches physiologiques, du moins en matière de rachis, nous savions cependant les brillants résultats obtenus par Pauwels grâce à cette technique, sur la physiologie de la hanche.

PRINCIPES GENERAUX

La photoélasticimétrie a pour but, par l'analyse de maquettes transparentes planes réalisées en un matériau initialement isotrope, mais rendu optiquement anisotrope par l'application de forces extérieures, de déterminer la direction des contraintes principales et leur valeur réelle en différents points de la maquette.

FIGURES 30 à 34

ENREGISTREMENT DES ISOCLINES
POUR UNE CHARGE DE 70 KGS (3^e ESSAI)



Fig. 30. — A gauche sous azimuth 0°.
A droite sous azimuth 10°.

Cette méthode va donc préciser certaines caractéristiques mécaniques par l'intermédiaire de propriétés optiques que nous allons rappeler.

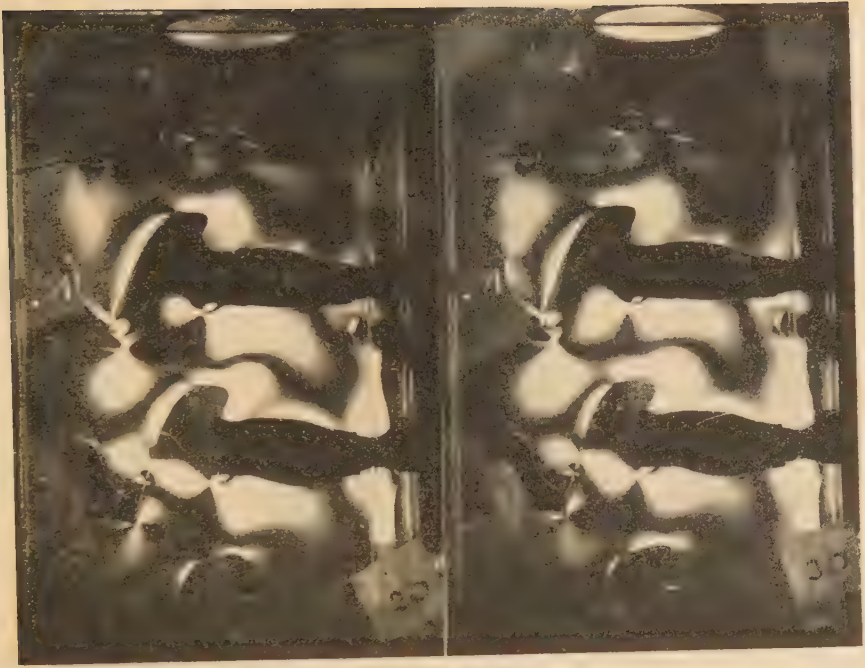


FIG. 31. — A gauche sous azimuth 20°
A droite sous azimuth 30° .

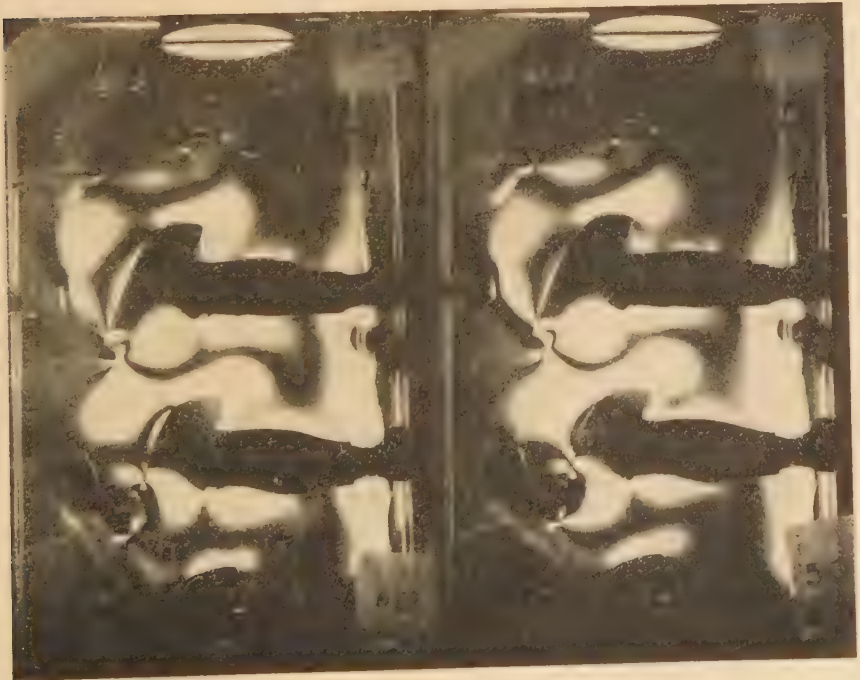


FIG. 32. — A gauche sous azimuth 40° .
A droite sous azimuth 50° .

La biréfringence ou double réfraction est la propriété qu'ont certains matériaux transparents de décomposer un vecteur lumineux en deux vibrations rectangulaires cheminant à travers l'épaisseur de ce matériau à des vitesses différentes, l'une correspondant à l'indice de réfraction ordinaire, l'autre à l'indice extraordinaire.

Certains matériaux sont biréfringents naturellement (spath d'Islande, mica), mais tous les matériaux transparents optiquement isotropes au repos deviennent biréfringents dès qu'on les soumet à un système de contraintes par application de forces extérieures.

La contrainte est la force qui s'exerce par unité de surface, elle s'exprime en kg par mm².

Maxwell et Neumann ont relié le phénomène de biréfringence aux contraintes s'exerçant dans le milieu transparent :

Les contraintes et les indices de réfraction peuvent en effet être respectivement représentés autour d'un point par l'ellipse des indices.

Ils ont énoncé les lois de la photoélasticité :

— l'ellipse des contraintes et celui des indices en un même point du solide ont les mêmes axes principaux ;

— les directions des indices principaux coïncident avec celles des contraintes principales ;

— la différence entre les indices des deux vibrations qui cheminent dans le solide est proportionnelle à la différence des contraintes principales dans le plan considéré.

La photoélasticité revient donc à déterminer la direction des indices et leur différence qui fournit celle des contraintes.

Dans les problèmes d'élasticité plane, on peut définir à l'intérieur du plan de déformation un certain nombre de lieux géométriques ou familles de courbes.

En chaque point du plan il existe deux directions privilégiées qui sont celles des contraintes principales. Les lignes isostatiques sont définies comme les enveloppes de ces directions.

Autrement dit, ce sont les lignes de champ des contraintes principales.

Elles forment deux familles de courbes, partout octogonales entre elles.

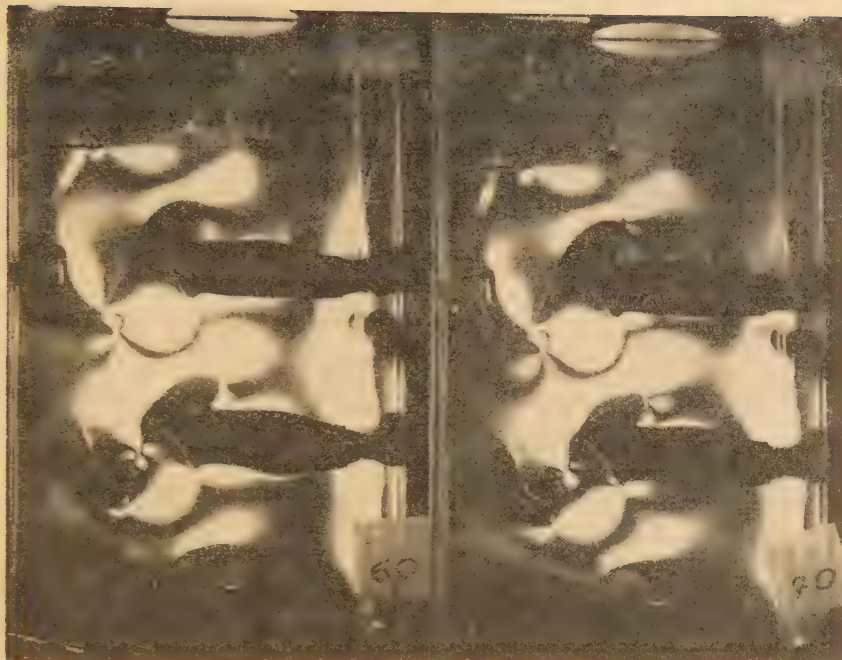


FIG. 33. — A gauche sous azimuth 60° .
A droite sous azimuth 70° .



FIG. 34. — A gauche sous azimuth 80° .
A droite sous azimuth 90° .

Pour tout élément normal à une isostatique, la contrainte tangentielle est nulle, la contrainte totale est dirigée suivant l'isostatique. Tout contour libre d'une pièce soumise à des contraintes planes est confondu avec une isostatique ; dans un matériau soumis à des contraintes planes, les isostatiques aboutissent nécessairement à angle droit sur tous les contours libres.

Si l'on considère le lieu des points pour lesquels les directions des contraintes sont parallèles à des directions déterminées, une ligne quelconque de ce lieu est dite ligne isocline.

C'est par l'intermédiaire du tracé du réseau d'isoclines que la photoélasticimétrie permet de dresser la carte des isostatiques, c'est-à-dire de déterminer la direction des contraintes principales en tous points de la pièce étudiée.

Un autre lieu géométrique joue un rôle très important, c'est celui des points pour lesquels la différence des contraintes principales a une valeur déterminée, on leur donne le nom de lignes isochromes.

Pour déterminer les contraintes en tous les points d'une pièce soumise à des efforts connus, on réalisera un modèle de cette pièce à une échelle convenable, en matière transparente.

L'examen de ce modèle en lumière polarisée, sous contraintes connues, permettra de tracer le réseau des isoclines ou carte de la direction des contraintes principales en chaque point.

Le réseau des isochromes ou carte de la grandeur des différences de contraintes principales.

Les appareils de photoélasticimétrie

Un banc de photoélasticimétrie tel que celui dont nous publions la reproduction doit comporter un certain nombre d'éléments : une source lumineuse, un polarisateur, un analyseur qui en sont les pièces principales.

La source lumineuse doit être d'intensité suffisante pour permettre un tracé facile des réseaux projetés.

Il est nécessaire pour le tracé des isochromes d'opérer en lumière aussi monochromatique que possible, c'est la lampe à vapeur de mercure qui fournit en général le maximum de précision.

Le polarisateur est généralement constitué par un prisme de Nicol de bonne qualité, monté sur un cercle gradué et orientable.

L'analyseur est constitué par un Nicol identique au polarisateur et monté de la même façon.

En utilisant ce banc on va successivement tracer le réseau des lignes isoclines, puis le réseau des lignes isochromes.

1) Les lignes isoclines.

La maquette en matière transparente, soumise à des contraintes, acquiert une biréfringence accidentelle.

Un rayon de lumière polarisée qui la traverse est décomposé en deux faisceaux vibrant dans des directions perpendiculaires entre elles, et coïncidant avec les directions des contraintes principales.

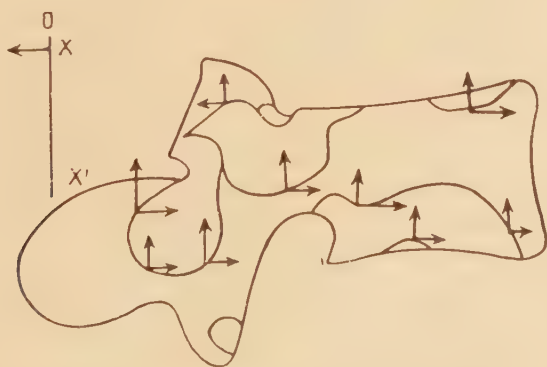


FIG. 35. — Définition des isoclines d'azimuth 0.

Si l'examen a lieu entre polariseur et analyseur croisés, le champ, qui reste noir tant que la pièce n'est soumise à aucun effort, s'éclaire dès que ceux-ci sont appliqués. Lorsqu'en un point considéré, l'un des axes principaux coïncide avec la direction de la polarisation, le rayon émergent est polarisé rectiligne dans la direction à 90° de l'analyseur : il y a par conséquent extinction de la lumière qui n'est pas rétablie en ce point.

L'examen de la pièce révèle donc des lignes noires sur fond clair. Ces lignes constituent les lieux géométriques des points auxquels l'un des axes principaux coïncide avec le plan de polarisation de la lumière incidente, ce sont les lignes isoclines.

A chaque orientation du plan de polarisation, c'est-à-dire en règle de 0 à 90°, on obtient un ensemble de telles lignes dont le tracé complet constitue le réseau des isoclines de la pièce soumise aux efforts considérés.

2) Les lignes isochromes.

Le modèle transparent devenu biréfringent par déformation introduit entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire une différence de marche qui correspond à une différence de phase.

Quand le retard optique est un multiple entier de la longueur d'onde de la lumière émise, il se recompose à la sortie du matériau un vecteur émergeant rectiligne que l'analyseur peut éteindre, ainsi se fait l'enregistrement des différentes lignes isochromes dont on retracera ensuite le réseau d'ensemble.

Ceci est valable pour une lumière monochromatique. En lumière blanche, seules les vibrations lumineuses de même longueur pourront interférer et l'on observera non plus des intensités variables d'une extinction à l'autre avec un maximum d'intensité entre chaque frange, mais une suite d'irisations où les teintes apparaissent dans un ordre bien déterminé.

Les retards optiques ont été reliés à ces teintes par l'échelle des teintes de Newton et l'examen en lumière blanche est ainsi parfois plus aisé.

Les différents schémas de la figure 36 résument ces notions.

En O A, nous voyons que lorsque le polarisateur (P) et analyseur (A) sont parallèles la lumière passe, par contre lorsqu'ils sont croisés perpendiculairement, il y a extinction. Le schéma O B traduit la loi de biréfringence, si S représente une source lumineuse, considérons le cas d'un solide anisotrope placé entre polariseur et analyseur croisés. Le rayon R polarisé dans un plan se trouve à l'intérieur du solide décomposé en deux rayons R1 et R2, correspondant aux plans d'indices de

réfraction principaux de la matière, ces deux vecteurs sont polarisés rectilignement, ils se recomposent à la sortie du matériau en un vecteur émergeant R' qui ne se trouve plus dans le plan du polariseur et ne peut donc plus être atteint par l'analyseur.

Le schéma O C explique le cas des lignes isoclines. Il s'agit du cas particulier où le plan de contrainte principale, c'est-à-dire le plan d'indice principal, est parallèle au plan de polarisation de la lumière incidente.

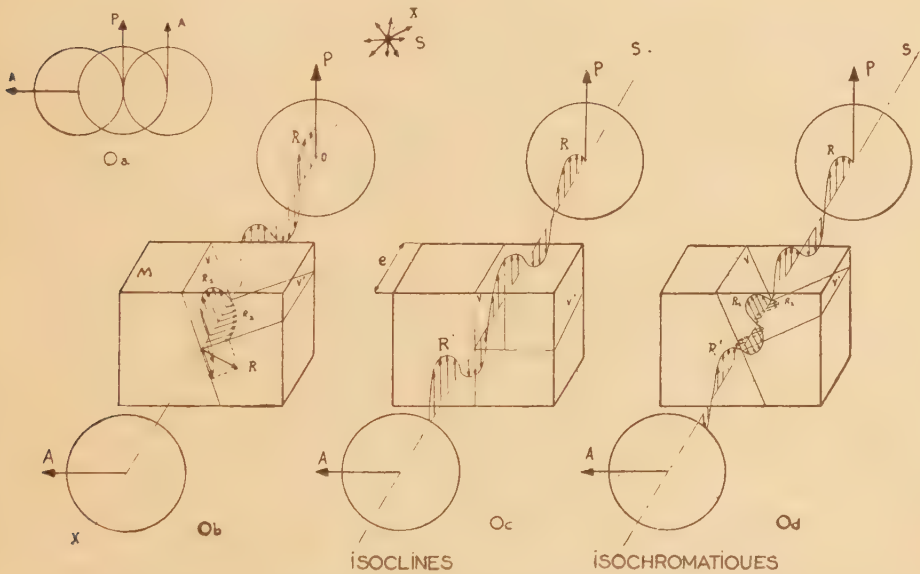


FIG. 36. — Schéma des phénomènes optiques définissant la photoélasticimétrie.

Il n'y a pas de décomposition du vecteur lumineux qui traverse le modèle sans altération. Le vecteur émergeant qui ressort dans le même plan que le polariseur et est alors éteint par l'analyseur, cette extinction détermine la ligne isocline d'azimuth correspondant au polariseur.

La transformation graphique de ces isoclines donnera les isostatiques, c'est-à-dire la courbe enveloppe des directions des contraintes principales.

Le schéma O D correspond à une décomposition du rayon incident, dont le cheminement est tel qu'à l'émergence les deux vecteurs R_1 et R_2 se trouvent en phase, leur recombinaison

donne alors un rayon R' dirigé dans le même plan que le polariseur, d'où extinction à l'analyseur.

Le lieu de tous ces points correspond au réseau des isochromes, ceux-ci étant de premier, deuxième ou troisième ordre, etc..., selon que le retard optique observé est égal à deux fois ou trois fois la longueur d'onde de la lumière utilisée.

3) Les lignes isostatiques.

La construction des lignes isostatiques à partir des lignes isoclines se fait en tenant compte de la direction de rotation du polariseur et de la valeur de cette rotation, nous avons vu qu'elle se fait généralement de 0 à 90°. L'examen des isostatiques permettra en mécanique industrielle de déterminer si la répartition des contraintes dans une pièce est homogène.

ETUDE D'UNE MAQUETTE DE RACHIS LOMBAIRE

Cette étude devait satisfaire aux exigences de la méthode photoélasticimétrique, nous avons vu les principales d'entre elles.

Mais elle comportait également un certain nombre d'impératifs physiologiques qu'elle devait respecter.

Les deux difficultés essentielles au départ étaient tout d'abord la détermination du plan de coupe vertébral pour la réalisation de la maquette, puis la mise en charge de cette maquette dans des conditions valables.

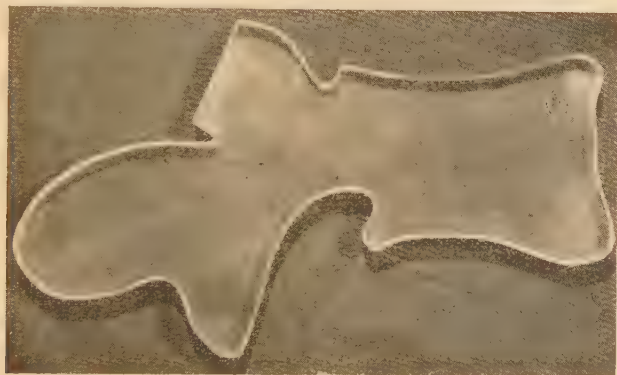


Fig. 37. — Reproduction de la pièce centrale de la maquette de la fig. 38.

Le modèle vertébral a été dessiné d'après un cliché de profil d'une vertèbre lombaire préalablement étudiée sur une coupe tomographique (fig. 37). Le modèle vertébral ainsi réalisé comporte les deux apophyses articulaires supérieure et inférieure sur lesquelles viendront s'encaster les apophyses correspondantes de deux pièces vertébrales respectivement sus et sous-jacente.

Nous avons ainsi été amené à étudier l'assemblage de trois vertèbres (fig. 38).

La vertèbre supérieure ne correspond pas exactement à cette description, du moins au niveau de son apophyse articulaire supérieure.



FIG. 38. — Montage en plexiglace comprenant les 3 maquettes vertébrales et les 2 modèles de disques.

Ceci tient au fait que pour stabiliser le montage, nous avons été obligé d'adapter au niveau des pièces supérieure et inférieure un montant spécialement dessiné.

Les conclusions de cette étude sont donc valables pour la pièce centrale du modèle. La forme spéciale de la pièce la plus haute ne constitue qu'un artifice de montage.

Pour représenter le disque intervertébral, en particulier dans ses fonctions d'amortisseur hydraulique, notre choix a porté sur le caoutchouc ; c'est la substance dont les caractéristiques mécaniques, en particulier l'incompressibilité, se rapprochaient le plus de celles du disque.

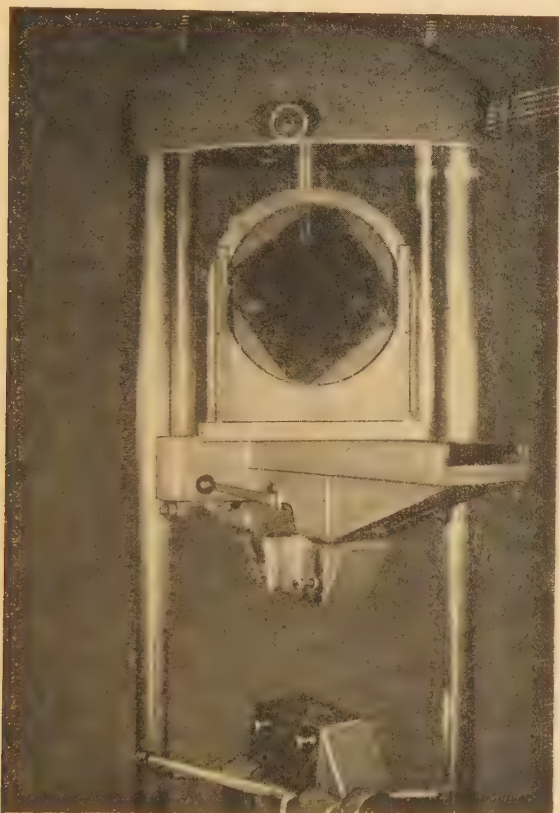


FIG. 39. — Banc de photoélasticimétrie (Laboratoire de résistance des matériaux de l'É.N.I.A.M. Directeur M. Giet).

Les pressions sont ainsi transmises et réparties dans toutes les directions.

La mise en charge fut réalisée par l'intermédiaire d'une presse Amsler du Laboratoire de Résistance de Matériaux de l'École Nationale des Ingénieurs des Arts et Métiers. Directeur Monsieur Giet (fig. 39).

Deux modèles furent utilisés : l'un en plexiglass, l'autre en araldite.

Dans la réalité, une vertèbre est sollicitée en compression et en flexion dans plusieurs plans.

Une détermination rigoureuse des facteurs pouvant intervenir dans la résultante des efforts appliqués serait donc indispensable.

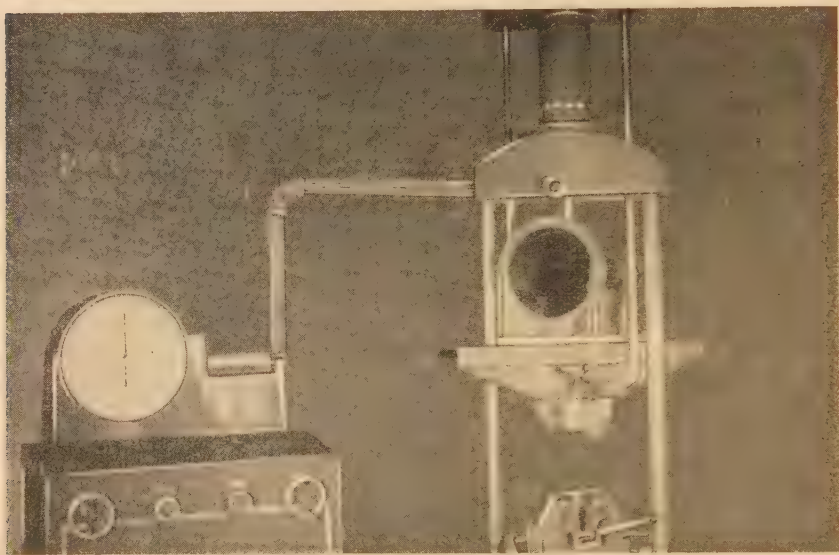


FIG. 40. — Presse hydraulique utilisée pour la mise en charge (Laboratoire de résistance des matériaux de l'E.N.I.A.M. M. Giet).

En fait, ce travail vise surtout à donner un aperçu de la méthode photoélasticimétrique, c'est pourquoi nous avons cru pouvoir simplifier les conditions de mise en charge.

Chaque essai a comporté la prise de clichés photographiques inscrivant les variations observées. Des clichés en couleur ont permis l'étude des réseaux isochromatiques en lumière blanche.

LES RESULTATS

1) Etude directionnelle.

La répartition directionnelle et quantitative des contraintes dépend essentiellement de la forme de la pièce et de la nature des efforts appliqués, mais en aucun cas du matériau utilisé.

L'étude directionnelle, autrement dit la répartition topographique des contraintes, a été effectuée sur le modèle en plexiglass dans la constante photoélastique est faible : ceci évite la superposition des lignes isochromatiques aux lignes isoclines.

La direction des contraintes ne varie pas avec l'intensité de la charge appliquée. Nous avons donc choisi une charge suffisante pour avoir des isoclines fines sans faire apparaître des isochromatiques. Ce fut obtenu pour une charge de 70 kgs.

2) Le relevé des lignes isoclines.

Le modèle chargé a été introduit dans un banc de photoélasticimétrie entre le polariseur et l'analyseur croisés.

La source lumineuse utilisée fournissait une lumière blanche polarisée rectilignement.

Par rotation simultanée de 10° en 10° , dans le sens antihoraire des polariseurs, nous avons relevé neuf familles de courbes d'isoclines de 0 à 90° .

La superposition de ces différentes courbes a permis d'obtenir le spectre complet des lignes isoclines du modèle étudié.

LIGNES ISOCLINES



FIG. 41. — Planche des isoclines regroupées de 0° à 90°.

3) Le tracé des lignes isostatiques.

Les isostatiques ont été obtenus par transcription graphique du réseau des isoclines.

Leur étude fournit la topographie et la nature des contraintes dans la maquette examinée.

Nous avons ainsi noté qu'il existait sur la pièce centrale entre les points e et f, c'est-à-dire au pourtour du trou de conjugaison, une zone de tension.

Par contre, entre les points a et b, c'est-à-dire dans la zone de jonction entre l'épineuse et l'articulaire supérieure, il existe une zone de compression.

Cette sollicitation en compression se retrouve également entre les points c et d, dans la région qui représente le pourtour inférieur du trou de conjugaison d'un espace intervertébral.

Un tel système présente donc une analogie mécanique avec une poutre en flexion. Si nous considérons l'axe en parallèle et légèrement sus-jacent au plateau vertébral inférieur, nous observons que les différentes isostatiques sont pratiquement perpendiculaires à cet axe.

Dans cette région nous avons essentiellement des contraintes de compression. Cette zone est ainsi très peu affectée par la fixation alors que, par contraste, l'examen des isostatiques montre que la région du plateau vertébral supérieur est considérablement intéressé par la flexion.

La densité des isostatiques ne peut être un critère de contraintes, puisqu'elle ne dépend que du nombre de points arbitrairement fixés au départ.

Cependant, le resserrement des isostatiques sur un profil libre traduit une concentration de contraintes.

Ceci se remarque dans les zones a b, c d, e f, précédemment définies, et où nous sommes assurés de trouver les contraintes les plus élevées.

Après avoir déterminé la nature et la direction des contraintes principales, il était intéressant d'envisager leur évolution à l'intérieur du modèle.

Le cheminement des flux de contraintes et plus particulièrement des contraintes de compressions autour du point A, est résumé par la figure N° 9.

LIGNES ISOSTATIQUES

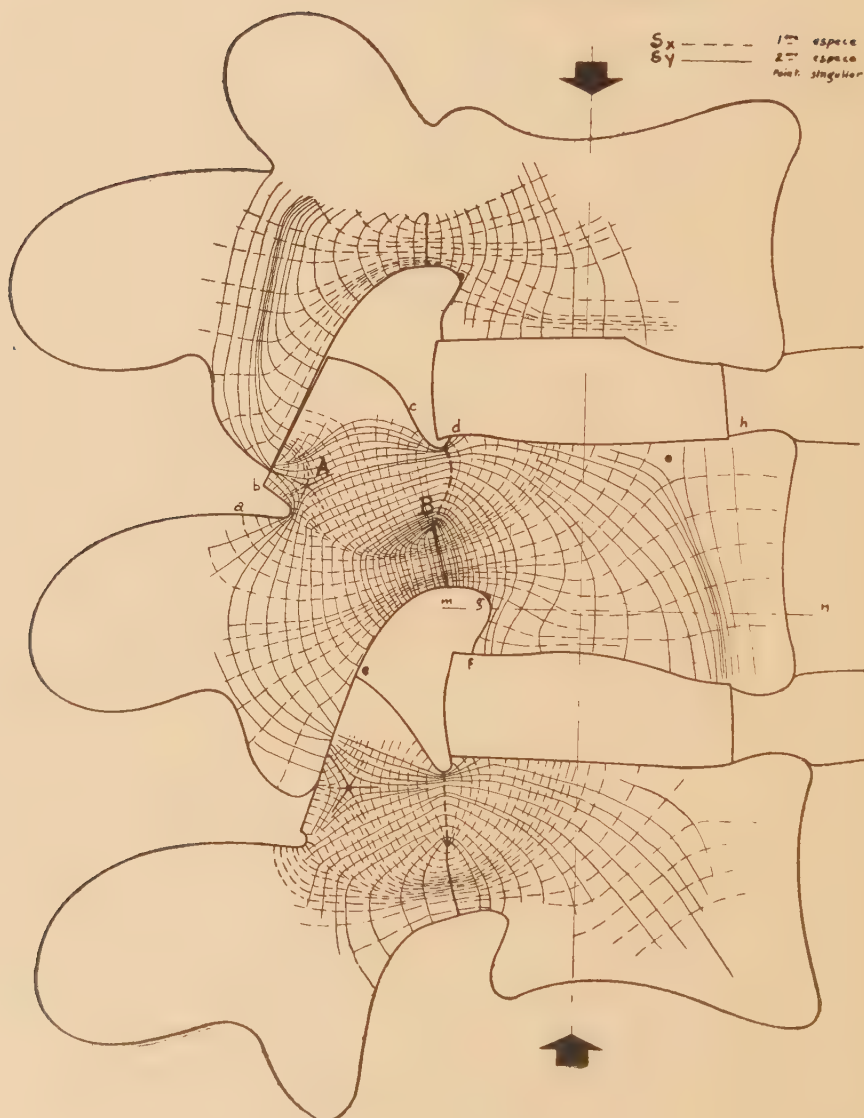


FIG. 42. — Lignes isostatiques.

La charge P se divise en deux flux : un flux antérieur qui descend le long de la partie antérieure du corps vertébral de cette maquette ; un flux postérieur qui va cheminer de vertèbre en vertèbre, le long de l'arc postérieur à travers les apophyses articulaires.

Ce flux postérieur, dont nous envisagerons plus loin l'étude quantitative, se scinde en deux faisceaux dont l'un gagne par le pédicule la portion antérieure du corps vertébral, alors que l'autre demeure dans l'arc postérieur.

L'étude du réseau isostatique permet en outre de déterminer la ligne de rupture.

Un des essais a par ailleurs été poussé jusqu'à une charge de rupture. En l'occurrence, l'intérêt était de vérifier si le tracé de la ligne de rupture correspondait à celui qui avait été calculé ; par contre, la valeur exacte de cette charge de rupture ne pouvait en aucun cas comporter de signification physiologique.

Cette rupture reproduit fidèlement, comme le montre le cliché N° 5, la ligne de lyse de l'arc postérieur au cours d'un processus pathologique qui a donné lieu à tant de discussions : la spondylolyse.

Il ne s'agissait pas là d'une simple coïncidence, puisque le calcul des contraintes nous localisait effectivement la rupture à ce niveau.

TABLEAU III

Isochromatique d'ordre	Retard optique	Contrainte tangentielle en kg/mm ²	Contrainte sur le profil en kg/mm ²
0	0	0	0
1/2	0,273	0,033	0,066
1	0,546	0,066	0,133
3/2	0,819	0,100	0,200
2	1,092	0,133	0,266
5/2	1,365	0,166	0,333
3	1,638	0,200	0,400

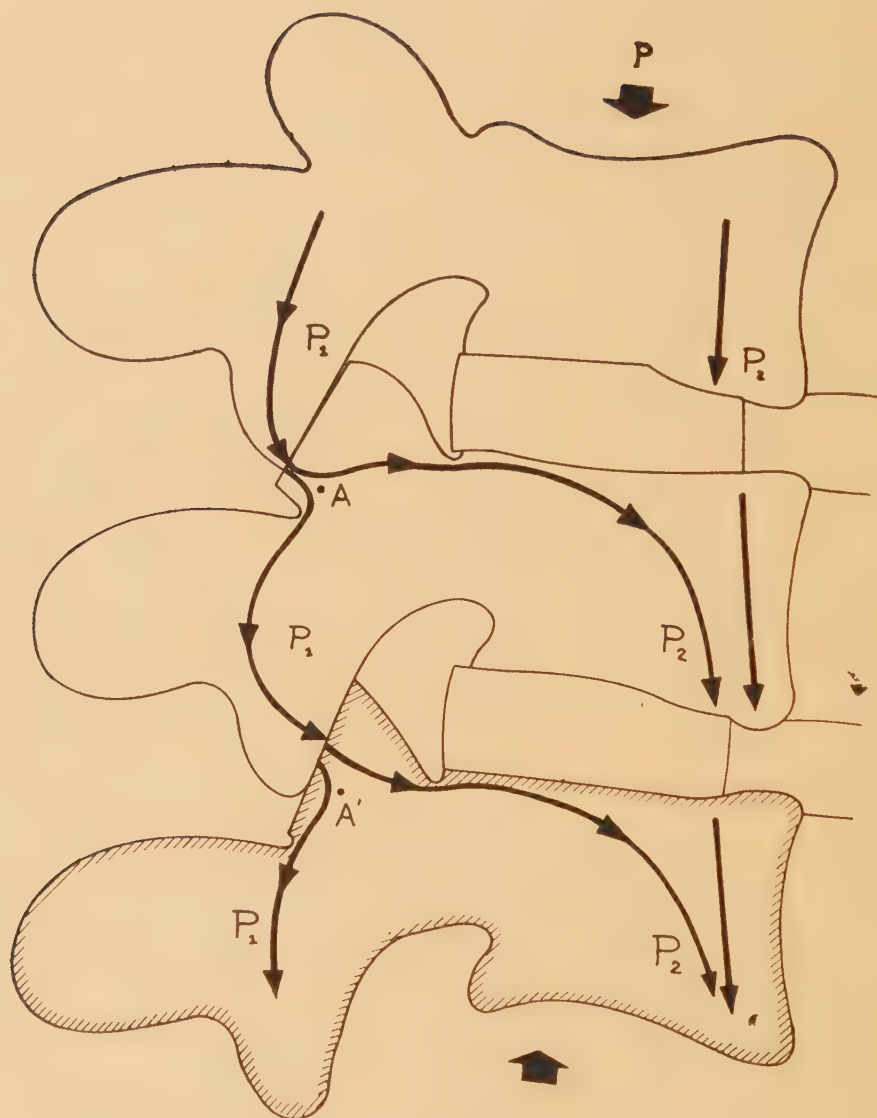


FIG. 43. — Etude du cheminement d'une charge P se subdivisant en 2 charges P_1 et P_2 .

Néanmoins, nous nous garderons bien d'en tirer des conséquences physiopathologiques et nous nous contenterons d'enregistrer le fait.

4) Détermination quantitative des contraintes.

Le modèle en araldite a été utilisé, son coefficient de photoélasticité élevé a permis de faire le relevé avec une charge de 67 kgs.

L'examen des lignes isochromatiques a été fait en lumière circulaire, afin d'éliminer le réseau des isoclines. Une lumière monochromatique de longueur d'onde égale à 0,546 a servi au relevé graphique (Tableau III), la lumière blanche a été utilisée pour les clichés en couleur.

Sur la figure 45 apparaissent, superposés, le réseau à fond noir en trait plein et le réseau complémentaire à fond clair en trait pointillé.

Ainsi sont déterminés les lieux d'égal cisaillement maximum dans toute la maquette.

L'intérêt essentiel est surtout de chiffrer sur tous les profils libres, la valeur des contraintes principales. Il est ainsi possible d'établir les valeurs de cisaillement maximum dans la maquette et celles des contraintes normales aux points où les isochromes coupent le profil libre.

Le développement des profils a b, c d, e f, permet de tracer la répartition des contraintes dans la maquette.

Il est remarquable de noter que le profil e f, qui est soumis en tension, subit la contrainte la plus élevée celle-ci atteignant 0,414 kgs/mm² dans les conditions expérimentales sus-définies.

Mais l'inscription graphique nous montre que le gradient de contrainte est très faible. Ce profil se rapproche donc d'un profil d'égale résistance, c'est-à-dire du point de vue mécanique d'un profil idéal.

Il n'en est pas de même pour les profils a b (fig. 46), où le gradient de contrainte est nettement plus élevé.

Si nous reprenons l'étude du cheminement du flux de contraintes à l'intérieur de la maquette, nous pouvons avoir une idée de rapport quantitatif des contraintes qui se distribuent à l'intérieur du modèle vertébral.

L'examen de la figure xx nous avait montré qu'un effort P se divisait en deux flux. Le P1, qui est celui de l'arc postérieur, entraîne une contrainte que nous avons évaluée à 0,414 kgs/mm².

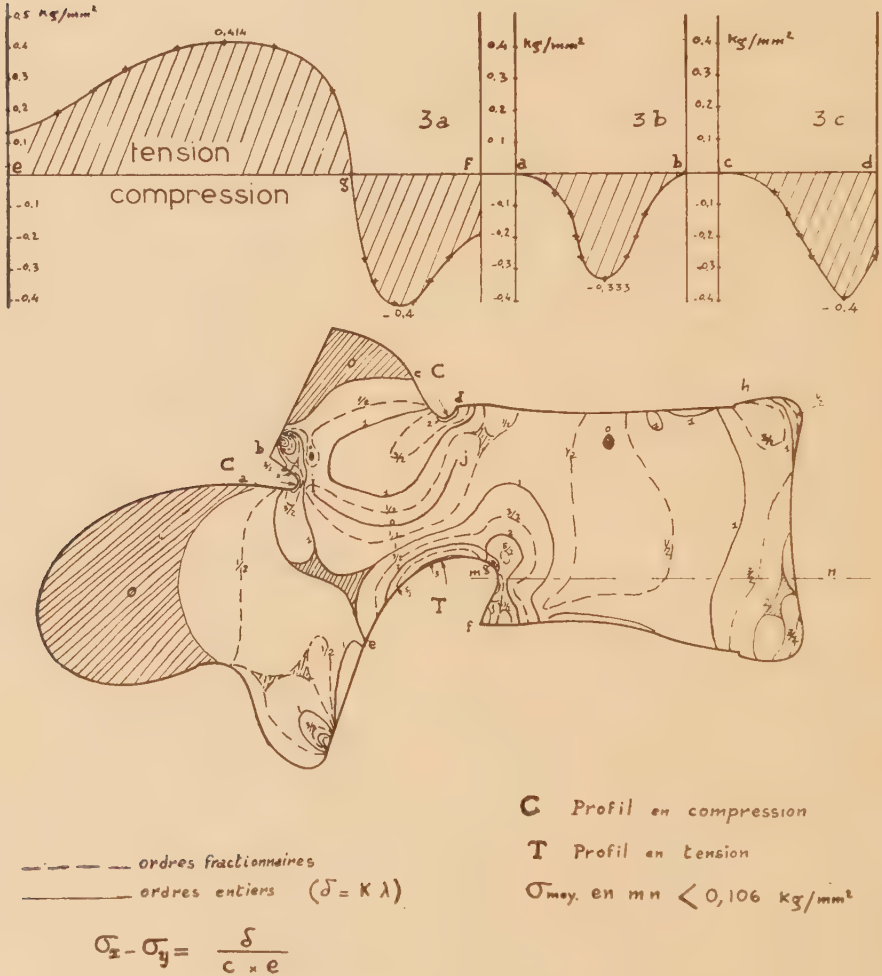


FIG. 44. — Lignes isochromatiques et contraintes pour $F = 67 \text{ kg}$.

Tandis que le flux P2, gagnant le corps vertébral, y détermine une contrainte qui est environ quatre fois inférieure et que l'on peut estimer à 0,106 kgs/mm².

Ces faits montrent bien le rôle de l'arc postérieur non seulement dans la cinétique rachidienne, mais également dans la statique.

Nous avons ensuite envisagé le problème du blocage de la maquette, selon que l'on utilise un greffon antérieur ou postérieur. Ces variations de contraintes avaient déjà donné lieu à



FIG. 45.

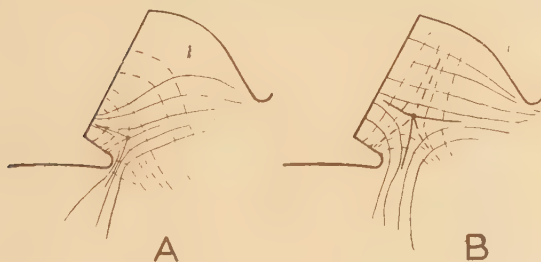


FIG. 46

des discussions lors des communications d'Herbert en 1953. La présence d'un greffon dans la région postérieure aurait du point de vue mécanique plus d'effet sur l'immobilisation de notre maquette que sa localisation au niveau de la région antérieure.

Mais cette stabilité entraînerait inévitablement un accroissement du flux de contraintes postérieur P1, or nous venons de voir que ce flux P1 déterminait une contrainte dans l'arc pos-

térieur quatre fois supérieure à la contrainte moyenne engendrée par le flux P2 au niveau du corps vertébral.

Nous entrons là dans le dilemme classique contrainte élasticité, toute variation de la rigidité entraînant des concentrations de contraintes.

Du point de vue des applications pratiques, il était donc à prévoir qu'une arthrodèse postérieure était susceptible d'entraîner une spondylolyse acquise.

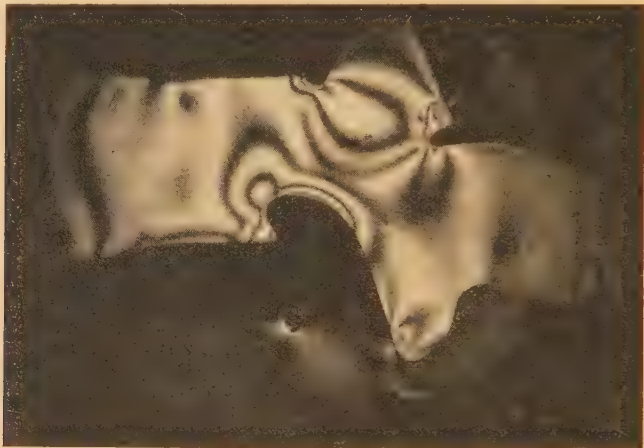


FIG. 47. — Enregistrement des isochromatiques en lumière monochromatique.

De telles observations sont sans doute rares, ne serait-ce que parce que la fusion que provoque de tels greffons n'est jamais parfaite ni complète.

Cependant, nous avons retrouvé dans la littérature deux observations rapportant de tels faits : la première fut publiée en 1950 par Unander-Scharin ; la seconde fut rapportée en 1956 par C.E. Anderson.

Ces deux observations sont identiques et montrent la constitution progressive d'une lyse au niveau d'une vertèbre lombaire après blocage de la région par arthrodèse postérieure.

Nous avons vu d'autre part que le long de l'axe m n, parallèle et sus-jacent au plateau vertébral inférieur, la contrainte de compression était peu perturbée par la flexion : si nous traçons la courbe des contraintes de compression le long de cet axe,

nous obtenons une courbe qui présente à ses deux extrémités, c'est-à-dire le long des bords antérieur et postérieur du corps vertébral, un maximum alors que son centre qui, topographiquement, correspond à la région centrale de la vertèbre il existe un minimum tel que le gradient de contrainte est relativement peu élevé.

Nous nous trouvons ainsi devant la répartition homogène d'un solide d'égale résistance. Mais si l'on considère la différence de structure entre le centre et la périphérie du corps vertébral, on est amené à penser qu'il s'agit d'une adaptation aux sollicitations imposées.

Le corps vertébral s'est renforcé aux points où les contraintes sont effectivement les plus élevées.

ESSAIS COMPLEMENTAIRES

Dans tous nos essais nous constatons que l'effort P1 se transmet d'un élément à un autre d'une façon ponctuelle.

La localisation de l'effort est remarquable sur le cliché d'isochromatique où elle prend la forme très caractéristique d'œil de faon.



FIG. 48. — Enregistrement des isochromatiques en lumière monochromatique.

Cette anomalie serait criticable sur le plan physiologique puisque, théoriquement du moins en raison du revêtement cartilagineux, la transmission est plus régulière ; cependant, du point de vue mécanique, nous avons toujours le droit de composer les efforts et de n'appliquer que leurs résultantes. C'est ce que nous avons fait dans les essais que nous venons d'analyser.

Toutefois, si les contraintes résultantes sont pratiquement les mêmes dans les régions particulièrement explorées a b, c d, e f, il n'en sera pas de même dans la région b k, où devrait s'exercer l'effort réparti.

C'est pourquoi nous avons réalisé une mise en charge améliorée, en interposant entre les apophyses articulaires une bande de caoutchouc de 2 mm d'épaisseur.

Les résultats obtenus au niveau des isochromatiques sont comme le montre la figure 45, p. xx, très peu différents.

Les contraintes exprimées dans la zone 3a, 3b et 3c restent les mêmes, mais la zone des K nous avons une distribution uniforme intéressant toute l'apophyse supérieure, nous remarquons notamment que le point singulier A s'est déplacé vers le haut. Il s'ensuit une distribution légèrement différente dans le réseau des isoclines et par répercussion dans celui des isostatiques. Toutefois, l'allure générale n'en serait pas perturbée, nous aurions tout au plus la distribution k b au lieu de k a.

Toutes les autres déductions, discussions et interprétations resteraient les mêmes.

CONCLUSIONS DE L'ETUDE PHOTOELASTICIMETRIQUE

Après avoir rappelé les principes de la photoélasticimétrie et en avoir exposé le mode de réalisation pratique, nous avons entrepris par cette méthode, l'étude d'une maquette de rachis lombaire.



FIG. 49. — Reproduction d'une rupture en charge.

Il nous a ainsi été possible de déterminer la répartition et la valeur des contraintes au cours des mises en charge.

Ces contraintes atteignent leur valeur maximum au niveau de l'arc postérieur dans la région voisine de l'isthme sur le pourtour des apophyses articulaires, l'apophyse épineuse étant une zone de contrainte nulle sur ce type de maquette.

La rupture en surcharge se fait selon une ligne identique à celle de la spondylolyse.

Au niveau du corps vertébral, les contraintes sont plus développées à la périphérie que dans la région centrale, ceci reproduit l'aspect habituel du corps vertébral spongieux dans sa partie moyenne, compact au niveau de la périphérie.

La mise en place d'un greffon dans la région postérieure augmente considérablement les contraintes qui s'y développent ; elle rapprocherait la maquette de la charge de rupture.

Des phénomènes identiques ont été observés en clinique. Le cheminement général des flux de contraintes montre que pour une charge portant sur la partie moyenne du plateau vertébral le plus élevé de la maquette, le flux principal gagne l'arc postérieur où il se subdivise en deux flux secondaires, dont l'un regagne le corps vertébral alors que l'autre traverse la maquette par les apophyses articulaires.

C'est ce dernier qui comporte les contraintes de valeur les plus élevées.

CONCLUSIONS

Il convient maintenant de regrouper les résultats de ces différentes études anatomiques, radiologiques, chirurgicales et photo-élasticimétriques.

L'étude anatomique nous a permis de différencier tant par les variations de l'arc postérieur que de l'arc antérieur, deux types de cinquième vertèbre lombaire : l'une correspondant à ce que l'on pourrait appeler une variété statique, alors que l'autre réalise une variété cinétique.

Du point de vue physiologique, ceci conduit à l'individualisation de deux variantes de charnière lombo-sacrée.

Les anomalies transitionnelles ne représentent que l'extériorisation de tels processus ; on aboutit ainsi à la description d'une pièce intermédiaire, la vertèbre sacro-lombaire ; elle pourra, selon les types fonctionnels considérés, posséder les caractéristiques d'une pièce sacrée ou d'une pièce lombaire.

L'étude radiologique a été poursuivie dans un essai de détermination de l'architecture intérieure des pièces vertébrales.

L'examen des différents types de cinquième vertèbre lombaire a permis d'aboutir à des conclusions identiques à celles de l'étude anatomique.

Grâce à certaines techniques spéciales, la radiologie met en évidence les différentes forces venant s'exercer sur la pièce examinée.

L'étude clinique nous a montré que les différents types de vertèbre lombaire précédemment définis étaient plus ou moins adaptés aux besoins physiologiques.

Il en résulte toute une série de processus pathologiques dont la plupart sont en rapport avec une surcharge s'exerçant sur une région qui est a priori insuffisamment protégée.

Nous avons ainsi pu étudier, grâce à des observations recueillies dans différents services, la pathogénie et le traitement des hernies discales, des scolioses, des spondylolisthésis, pour ne citer que les principaux syndromes relevant de ce que certains auteurs n'ont pas hésité à qualifier d'insuffisance lombaire.

Reprenant une méthode couramment utilisée en mécanique industrielle et nous inspirant des recherches de Pauwels, nous avons appliqué à l'étude d'un rachis lombaire : la méthode photo-élasticimétrique.

Cette méthode nous a montré comment se répartissaient les contraintes à l'intérieur d'une maquette vertébrale de type lombaire et les points de charge maximum. Elle montrerait que la spondylolyse est le résultat d'une surcharge et survient dans une région où les contraintes de cisaillement atteignent leur valeur la plus élevée.

Le blocage de la charnière lombo-sacrée par un greffon postérieur augmente considérablement ses contraintes de cisaillement et devrait théoriquement entraîner la survenue d'une spondylolyse acquise : ces faits sont confirmés par la pratique et il en existe dans la littérature de ces dernières années deux observations de lyses isthmiques consécutives à une arthrodèse postérieure.

Vu :

LE DOYEN :

L. BINET.

Vu :

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE :

R. MERLE D'AUBIGNE.

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS :

J. SARRAILH.

BIBLIOGRAPHIE

- ALAJOUANINE Th. et THUREL R. — Les ostéocarthropathies nerveuses. *Revue du Rhumatisme*, 2, 193-265, 1935.
- ALAJOUANINE Th. et THUREL R. — Lombo-sciatique par hernie discale et anomalie vertébrale (sacralisation de la 5^e vertèbre lombaire et lombalisation de la 1^{re} vertèbre sacrée). *Rev. de Neurologie*, 79, N° 5, 369-370, 1947.
- ALBERT F. — A propos des sciaticques chirurgicales : l'hypertrophie des ligaments jaunes. *Lyon Chirurgicale*, tome 48, N° 1, janvier 1953, p. 46-53, 10 fig.
- ALBEE F. — The bone Graft op. for tub. of Spine. Twenty years experiences. *J.A.M.A.*, 94, 1.467, 1954.
- ALLBROOK D. — Movements of the Lumbar Spinal Column. *J. Bone J. Surgery*, 39-B, N° 2, 1957.
- ALLBROOK D. — The East African Vertebral column. *Journ. of Physical Anthropology*, 13, p. 489, 1955.
- ALLBROOK D. — The Skeletal Anatomy of the back in East Africans. *East Afr. Med. Jour.*, 33, p. 9, 1956 a.
- ALLBROOK D. — Changes in lumbar vertebral body height with age. *Amer. J. of Physical Anthropology*, 14, p. 35, 1956 b.
- AMOUDRUZ J.P. — Etude anatomique et pathogénique de l'ostéophytose des corps vertébraux. *Thèse Paris*, 1951.
- ANCEL et SENCERT. — De quelques variations dans le nombre des vertèbres chez l'homme. *J. d'Anatomie et de Physiologie*, N° 3, 1902.
- ARDEN G.P. — Spondylolisthesis with bilateral drop foot. *Proc. Royal Soc. Med.*, 42, 601-604, 1949.
- ARLET J. et DUNGLAS J. — L'épiphysite vertébrale lombaire et son rôle dans le développement des discopathies lombaires. *Revue du Rhumatisme*, 17, 593-596, 1950.
- ARNELL S. and LIDSTROM F. — Myelography with Skiodian (Abrodil). *Acta Radiol.*, 12, 287-288, 1931.
- ARNELL S. — Myelography. *Acta Radiologica*, 13, 43-50, 1932.
- ARNELL S. — Myelography with water contrast. *Acta Radiologica*, suppl. 75, 1948.
- ABBOTT K.A. — Use of frozen cranial bone flaps for autogenous and homologous grafts in cranioplasty and spinal interbody fusion. *Journ. Neurosurg.*, 10, 380-388, 1953.
- ADAMS J.C. — Technique, dangers and safeguard in osteotomy of the spine. *J. bone Surg.*, 34 B, 226-232, may 1952.
- ADKINS E.W.O. — Spondylolisthesis. *J. Bone J. Surg.*, 37 B, 48-62, 1955.
- ADKINS E.W.O. — Lumbo sacral arthrodesis after laminectomy. *J. Bone J. Surg.*, 37 B, 208-223, may 1955.
- ADOLPHI. — Ueber die Variat. D. Brustkorbs. *Morph. Jahrb.* Bd. 33, 1905.
- AIMES A., BORIES-AZEAU A. — Subluxation latérale de l'articulation lombo-sacrée. *Revue d'Orthopédie*, T. 40, N° 2, avril-juin 1954.

- ALAJOUANINE T., PETITDUTAILLIS. — Paraplégie par nodule fibro-cartilagineux. *Presse Médicale*, 6, 12, 1930.
- ARMSTRONG J.R. — Les causes des résultats non satisfaisants du traitement opératoire des lésions des disques lombaires. *J. Bone J. Surg.*, 33 B, N° 1, 31-35, 7 fig., fév. 1951.
- ARMSTRONG J.R. — Lumbar disc lesions. Edinburgh. E. and S. Eivingstone Ltd, 213-214, 1952.
- AZÉMA M.A. — Le spondylolisthésis. *Thèse Paris*, 1932.
- BARR J.S. et MIXTER W.J. — Posterior of the lumbar intervertebral disc. *J. Bone J. Surg.*, 23, 1941.
- BARR J.S. — Ruptured intervertebral disc and sciatic pain. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 29, p. 429-437, 1947
- BARR J.S. — Portuded Discs and painful Backs. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 33 B, p. 3, 1951.
- BATTS Martin Jr. — Rupture of the Nucleus Pulposus. *J. Bone J. Surg.*, 21, 121, 1939.
- BATTS Martin Jr. — The etiology of Spondylolisthesis. *J. Bone J. Surg.*, 21, 879, 1939.
- BEADLE Armand A. — The intervertebral discs. Observations on their normal anatomy in relation to certain spinal deformities. *Med. Res. Council, Spec. Rep. Ser.*, N° 161, London, His Majesty's Stationery Office, 1931.
- BENEKE K. — Zur Lehre von der Spondylotis deformans. *Festschrift zur 69 Versamml. d. Deutsche Natur u. Ärzte*, 1897.
- BERGMAN G., BETHE A., EMBDEN G., ELLINGER A. — Handbuch Normalen und pathologischen physiologie. Bd. XVI ; p. 813. Bd. XV/1 ; p. 193. Bd. XIV/1, p. 993.
- BERTAGNA J. — Diagnostic des cénestopathies lombaires. *Revue du Praticien*, tome V, N° 18, 21-6, 1955.
- BERNARD et CAILLOL. — Les poly-ostéochondroses. *Pédiatrie*, VI, 269, 1951.
- BONTE G., TRINEZ G. — Radiculographie lombo-sacrée par contraste hydro-soluble résorbable. *Presse Méd.*, LXIII, 1955. Atlas de Radiologie clinique.
- BESWORTH D.M. — Techniques of spinal fusion : Pseudarthrosis and method of repair. *Amer. Acad. of Orthop. Surgeons*, p. 295-313, 1948.
- BOSWORTH D.M. and LEVINE J. — Tuberculosis of the Spine. An analysis of cases treated surgically. *J. Bone J. Surg.*, 31-A, p. 267-274. April 1949.
- BOSWORTH D., FIELDING W., DEMAREST, BONAQUIST M. — Spondylolisthesis, revue critique d'une série de cas traités par arthrodèse. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 37-A, N° 4, p. 767-786, 18 fig., juillet 1955.
- BOSWORTH D.M. — Circumduction fusion of the Spine. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 38-A, n° 2, 15 fig., April 1956.
- BOURDILLON. — Etude pathologique du disque intervertébral. *Ann. An. Path.*, XI, 252, 1934.
- BRADFORD F.K. and SPURLING R.G. — The intervertebral disc. C. Thomas, publ., Springfield, 1945.
- BRAILS福德 J.F. — The radiology of bones and joints. Baltimore. W. Wood and Cie, 1934 and 1945.

- BRAUS M. — Anatomie des Menschen, 1929.
- BROCHER U. — Traumatische Wirbelverschiebung in d. lumbo-sakral-gend. *Fortsch. Röntg.*, 57, 423, 1938.
- BRUNAT W. — Physiopathologie des lombalgies basses. *Sem. Hôp. Paris*, N° 25, 18 avril 1953.
- COVENTRY M.B., GHORMLEY R.K., KERNOHAN J.W. — The Intervertebral Disc. Pts I, II, III. *J. Bone J. Surg.*, 27 April, p. 233-247, 1945 ; Joly, p. 460-474 ; Janv., p. 105-112.
- CRAIG F. (New-York). — Vertebral Body Biopsy. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 38-A, N° 1, p. 93-102, 18 fig., janv. 1956.
- GREYSSSEL J. — Fracture des apophyses transverses lombaires. Spondylolisthésis traumatique. Coudure de l'uretère droit englobé dans la cicatrice profonde. Hydronéphrose intermittente consécutive. *Lyon Chir.*, 22, 678-685, 1925.
- GREYSSSEL J. et BONNET J. — Spondylolisthésis Vissage par voie trans-péritonéale. *Syon Chir.*, 45, 372-377, 1950.
- GREYSSSEL J. et SCHNEPP J. — Syr l'épiphyssite vertébrale douloureuse des grands enfants et des adolescents. *Lyon Chir.*, T. 49, N° 4, p. 433-449, 9 fig., mai-juin 1954.
- GUNNINGHAM D.J. — The lumbar curve in man and the Apes. Royal Irish Acad Cunningham mem., N° 2, 1886.
- CUSHWAY B.C., MAIER R.J. — Routine examination of the spine for industrial Employees. *J.A.M.A.*, 92, 701, 1929.
- CLOWARD R.B. — Changes in the vertebrae caused by ruptured intervertebral discs. Observations on their formation and treatment. *Amer. Journ. of Surg.*, 84, p. 151-161, 1952.
- COMITI J. et GAMEL R. — La sympathectomie lombaire élargie. *Lyon Chir.*, Tome 49, N° 4, p. 503, mai-juin 1954.
- COMPÈRE E.L. (Chicago). — Excision of hemi vertebrae for correction of congenital scoliosis. Report of two cases. *J. Bone J. Surg.*, 14, p. 555-562, 14 juillet 1932.
- CONGDON Russel T. — Spondylolisthesis and vertebral anomalies in skeletons of american aborigines. *J. Bones J. Surg.*, 14, 511, 1932.
- CONSTANTIN L., PAREIRAC R. — Anomalies transitionnelles de la charnière dorso-lombaire et lombalgies. *Soc. Electro-Radiol. Méd.*, Litt. Méd., 10 juin 1951.
- CORRET P. — Fracture des 5 apophyses transverses lombaires. Diastasis sacro-lombaire. *Revue Orthop.*, mars 1931.
- COULON G.F. — Les problèmes médicaux-légaux posés par les lombalgies. *Thèse Paris*, 1956.
- CALDWELL G.A. — Spondylolisthesis Analysis of fifty nine cases. *Ann. Surg.*, 119-485, 1944.
- CALDWELL G.A. and SHEPPARD W.B. — Criteria for spine fusion following removal of protuded nucleus pulposus. *J. Bone J. Surg.*, 30-A, p. 971-980, oct. 1948.
- CALLANDER C.L. — Surgical anatomy. Philadelphia, W.B. Saunders Cie 1939.
- CAMP S.D. — Contrast myelography past and present. *Radiology*, II, IV, 1950.
- CAPENER. — Spondylolisthesis. *Brit. J. Surg.*, 19, 374-386, 1952.
- CAPENER (Norman). — The evolution of lateral rachotomy. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 36-B, 173-179, may 1954.

- CARAVEN. — Double luxation de la colonne lombaire sans trouble sensitivo moteur. *Ac. de Chir.*, p. 58, 23 janv. 1932.
- CASTAIGNE P. — Bilan étiologique général de l'examen d'un malade atteint de lombalgie et de sciatique. *Revue du Praticien*, Tome V, N° 18, 21 juin 1955.
- CAULDWELL W.E., MOLGY H.C., ESOPD D.A. — Further studies in the pelvic architecture. *Amer. Journ. Obst. Gyn.*, 28, 1934.
- CICCONE Roy and RICHMAN R.M. — The mechanism of injury and the distribution of 3.000 fractures and dislocations caused by parachute jumping. *J. Bone J. Surg.*, 30-A, 1948.
- CHANDLER F.A. — Lesions of the « isthmus » (Para interarticularis) of the laminae of the lower lumbar vertebrae and their relation to spondylolisthesis. *Surg. Gyn. Obst.*, L, 111, 273, 1931.
- CHARNLEY J. — Orthopaedic signs in the diagnosis of disc protusion. *Lancet*, p. 186, 1951.
- CHARLES G. — Fractures des isthmes vertébraux lombaires. *Thèse Paris*, 1952.
- CLARK W.E., LEGROS. — Observations on the Anatomy of the fossil *Australopithecinae*. *J. Anat.*, 81, 300, 1947.
- CLÉMENT R. — Les chondro-dystrophies. *Sem. Hôp. Paris*, 28, p. 33-53, 1952.
- DANDY W.E. — Loose cartilage from the intervertebral disc simulating tumor of the spinal cord. *Arch. Surg.*, 19, 660, 1929.
- DANDY W.E. — Concealed ruptured intervertebral disc apnea for the Elimination of contrast mediums in diagnosis. *J.A.M.A.*, 117, 821, 1941.
- DANDY W.E. — Treatment of recurring attacks of low backache, without sciatica. *J.A.M.A.*, 125, 1944.
- DANDY W.E. — Treatment of spondylolisthesis. *J.A.M.M.*, 127, 137-139 20 janv. 1945.
- DANFORTH C.H. — Numerical variations and homologies in vertebrae. *Amer. Journ. Phys. Anthropol.*, 14, 463, 1930.
- DART R.A. — The first pelvic bones *australopithecus prometheus* Preliminary Note. *Amer. Journ. Phys. Anthropol.*, 7, 225, 1949.
- DARWIN Charles. — The descent of man and selection in relation to sex. New-York, D. Appleton and Cie, 1871.
- DAVIS A.G. — Symposium on the intervertebral Disc. *J. Bone J. Surg.*, 29, 424, 1947.
- DEBEYRE J., de SÈZE, JURMAND H. — Traitement des lombo-sciatiques par la greffe encastree. *Sem. Hôp. Paris*, N° 5, 18 janv. 1952.
- DELAVALLE P.P.A. — Contribution à l'étude du spondylolisthésis. *Thèse Bordeaux*, 1932.
- DELAHAYE. — Quelques détails de l'ossification vertébrale précisée par la radiographie. *Journ. Radiol. et Electrol.*, VIII, 167, 1924.
- DELAHAYE. — Signes radiologiques de l'épiphyse vertébrale douloureuse des adolescents. *Journ. Radiol. et Electrol.*, XV, 666, 1931.
- DELANNOY E., SOULIER A., DEVAMBEZ M. et SOOTS G. — A propos de 20 cas de spondylolisthésis. *Lille Chir.*, 7, 227-245, 1952.
- DELCHÉF J. — Le spondylolisthésis. *Acta Chir. Belg.*, 50, 374-379, 1951.
- DELCHÉF J. — Fracture luxation peu commune de la colonne vertébrale médio-dorsale. *Mém. Ac. Chir.*, 18 avril 1951.

- DENSTADT T. — The resorption of abrodil in myelography *Act. Radiol.*, XXXII, 1949.
- DE DONKER E. — Les angiomes vertébraux lombaires. *Rev. Chir. Orth.*, Tome 42, N° 2, p. 352, avril-juin 1956.
- DELMAS A. — L'orifice supérieur du thorax. Etude morphogénétique de ses éléments constitutifs osseux et fibreux. Montpellier, 1938.
- DELMAS A. — De quelques variations numériques de la colonne vertébrale de l'homme. *Soc. Anat., Paris*, déc. 1947.
- DELMAS A. — Sur les connections sacro-iliaques. *Ass. Anat.*, Strasbourg, 22-24, mars 1948.
- DELMAS A., CATRISIS et JUSTER. — Fréquence des variations numériques vertébrales de l'homme dans une série de 188 rachis. *Soc. Anat.*, Paris, 2 juin 1949.
- DELMAS A. — Jonction sacro-iliaque et statique corporelle. *Revue Rhumat.*, p. 475-481, sept. 1950.
- DELMAS A. — Types rachidiens et statique corporelle. Journées internationales d'anthropologie différentielle. Royaumont, 11-16 sept. 1950.
- DELMAS A. et DEPREUX R. — Courbures rachidiennes et profil graphique des trous de conjugaison. *Assoc. Anat.*, XXXIX, Nancy, 1951.
- DELMAS A., RAOU A. — Sur les mouvements du rachis de Lemur Macacol. *Soc. Anat.*, Paris, 1952.
- DELMAS A. — Attitude érigée et types rachidiens de statique corporelle. Journées médicales de la F.F.E.P., Edit. S.D.M.S., 1952.
- DELMAS A., RAOU R. — Mouvements du rachis. Incidences cumulées. C.R.A.A., Clermont-Ferrand, 7 avril 1952.
- DELMAS A., RAOU R. — Recherches sur les mouvements du rachis lombaire. *Soc. Anat.*, Paris, 14 février 1952.
- DELMAS A., DEPREUX R. — Courbures rachidiennes et formes des trous de conjugaison. *Revue du Rhumat.*, 20^e année, N° 1, p. 25-29, janv. 1953.
- DELMAS A. — Les variations numériques et morphologiques rachidiennes. M.E.P.S., 29, N° 3, 3^e trimestre 1955, p. 111-120.
- DELMAS A. — Quelques aspects de l'anthropologie rachidienne. *Revue Anthropol.*, 2^e année, N° 1, juillet 1956.
- DELON L. — Topographie et rôle du nucleus pulposus. *Thèse Paris*, 1936.
- DELORME. — Contribution à l'étude des fractures, luxations de la 5^e vertèbre lombaire. *Munch. Med. Wochenschr.*, N° 10, p. 518, 1951.
- DEMPSTER W.T. and LIDDCOAT R.T. — Compact bone as a non-isotropic material. *Amer. Journ. of Anatomy*.
- DUPARC G. — Contribution à l'étude anthropologique de la colonne vertébrale. Enquête portant sur 66 rachis de Boschimans, Hottentits et Griquas. *Thèse Genève*, 1942.
- DUNCAN G.A. and FERGUSON A.B. — Benin giant-cells tumor of the fourth lumbar Vertebrae. Acase Report. *J. Bone J. Surg.*, 18, 769-772, July 1936.
- DUNKERLEY C.E. — Fractures et dislocations vertébrales : 50 cas. *Indian Med. Gaz.*, p. 202, avril 1943.
- ECOIFFIER J. — L'exploration des discopathies lombo-sacrées par les contrastes résorbables. Diplôme de Radiologie, Paris, 1952.
- ECOIFFIER J. — Premiers résultats acquis en discographie et myélographie selon les méthodes suédoises. *Journ. de Radiologie et Electroradiologie*, XXXIII, p. 578, 1952.

- ECKER C., DECKER A. — Pathological studies of intervertebral discs. *J. Bone J. Surg.*, 29, 447, 1947.
- EDGERS LURA H. — Tissue reaction of bone upon mechanical stresses. *Amer. Journ. of Orthodontics*, 38, p. 453, 1952.
- EHRENHAFT J.L. — Development of the vertebral column as related to certain congenital and pathological changes. *Surg. Gynec. and Obst.*, 76, 282-292, 1943.
- ELLIS J.D. — The Injured beak and its treatment. Springfield, C.C. Thomas and Cie, 1940.
- ERLACHER P.R. — Nucleography. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 34-B, p. 204-210, may 1952.
- EVANS F.G., LISSNER H.R. — « Stresscoat » deformation studies of the femur under Statis Vertical Loading. *Anat. Rec.*, 100, 159, 1948.
- EVANS F.G., LISSNER H.R., PEDERSEN H.E. — Deformation studies of the femur under dynamic vertical loading. *Anat. Rec.*, 101, 225, 1948.
- EVANS F.G. — Studies i. Human Biomechanics. *Annals of N.-Y. Academy of Sciences*, 63, p. 586, 1955.
- FANCIOLI P. — Selon voies d'accès dans les sympathectomies lombaires et lombothoraciques. *Helvetica Chir. Acta*, 18, 536-543, 1951.
- FALCONER M.A., Mc GEORGE M., BEGG C.A. — Observations on the cause and mechanism of symptom Production in Sciatics and Low-back pain. *Neuro. Surg. and Psychiat.*, 11, 1948.
- FAULON L., LÉGER L., AKHRAS. — La lombalgie par néarthrose inter-épineuse (maladie de Baastrop). *Presse Méd.*, 57, N° 2, p. 34, 5 janv. 1949.
- FAULON L. — Examen clinique d'un malade atteint de lombo-sciatique. *Revue du Prat.*, Tome V, N° 18, 21 juin 1955.
- FAVRE R. — La place de la greffe vertébrale précoce dans le traitement des fractures dorso-lombaires récentes du rachis. *Mém. Acad. Chir.* Tome 81, p. 58, janv. 1956.
- FEFFER H. — Hydrocortisone injected into degenerated intervertebral discs. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 38-A, N° 1, p. 242, janv. 1956.
- FEFFER H. — Treatment of low-back and sciatic pain by the injection of hydrocortisone into degenerated intervertebral discs. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 38-A, N° 3, p. 585-592, 5 fig., June 1956.
- FENKNER D. — Dislocation latérale de la colonne vertébrale et traumatisme. *Arch. f. Klin. Chir.*, 161, 475, 1930.
- FERNANDEZ de MOLINA A., ACHARD O., WISS A.O.R. — Respiratory and Vasometer responses to simulation of Afferent fibers in somatic nerves. *Helv. Physi. Pharm. Acta*, 11, 1953.
- FICK R. — Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, 1904.
- FLETCHER G.H. — Backward displacement of fifth lumbar vertebrae in degenerative disc Disease. *J. Bone J. Surg.*, 29, 1,019, 1947.
- FRANKEL C.A. — Aspiration biopsy of the spine. *J. Bone J. Surg.*, 38-A, 69-74, janv. 1954.
- FRANCK S. — Traitement chirurgical de l'ostéoarthrose inter-épineuse (« kissing spine »). *Acta orthop. Scand.*, 14, p. 127-152, 1943.
- FRANZONI F. — Trettamento Chirurgico per compressione radicolare de retrolistesi delle 2 vertebre lombare. *Minerva Orthop.*, 3, 385-386, 1952.
- FRIBERG Sten. — Studies on Spondylolisthesis. *Acta Chir. Scand.*, 82, suppl. 55, p. 40-72, 1939.

- FRINBERG S. — Anatomical studies on lumbar disc degeneration. *Acta Orthop. Scand.*, 17, p. 224, 1948.
- FRIBERG S. and HIRSCH C. — Anatomical and clinical studies on lumbar disc degeneration. *Acta Orthop. Scand.*, 19, p. 222-242, 1949.
- FRIBERG S., HULT. — *Acta Orthop. Scand.*, XX, p. 303, 1951.
- FORESTIER J., Mlle CERTONCINY. — Sacralisation douloureuse de la cinquième vertèbre lombaire et altérations discales. *Lyon Chir.*, 1947.
- GALLEY J.C.H. — La greffe intervertébrale d'un os spongieux dans le traitement des lombalgies graves. *Thèse Paris*, 1957.
- GALMICHE P. — Le lumbago aigu. *Rev. du Prat.*, Tome V, N° 18, 21 juin 1955.
- GANTENBERG. — Die bedeutung deformierender Prozesse der Wirbelsäule. *Forsch. Roëntgenstr.*, 42, 740, 1930.
- GARDNER E. and JACOBS John. — Joint Reflexes and regulation of respiration during exercise. *Amer. Journ. Phys.*, 153, p. 567-579, 1948.
- GEORGE E.M. — Spondylolisthesis. *Surg. Gyn. Obst.*, 68, 774, 1939.
- GERBHARDT F. — Ueber funktionell wichtige Anordnungsweise der feineren und größeren Bauelemente des Wirbeltier knochens. *Archiv. für Entwicklungsmechanik der organismen*, 20, p. 187, 1905.
- GHORMLEY R.K., LOVE J.G., YOUNG H.H. — The « combined operation » in low back and sciatic pain. *J.A.M.A.*, 120, p. 1.171-1.176, 1942.
- GIANTURCO C. — A roentgen analysis of the motion of the lower lumbar vertebrae in normal individuals and in patient with low back pain. *Amer. Journ. of Roentgenology*, 52, p. 261, 1944.
- GILL Gerald, MANNING John, WHITE Hugh. — Traitement chirurgical du spondylolisthésis sans fusion vertébrale. *J. Bone J. Surg.*, Vol. 37-A, N° 3, p. 493-529, 9 tableaux, 21 fig., juin 1955.
- GIROUD A. et LELIÈVRE A. — Eléments d'embryologie. Le François, édit., Paris, 1938.
- GLORIEUX P. — Les traumatismes de la colonne vertébrale. *Journ. Belge Radiol.*, Fasc. V, 1932.
- GLORIEUX P. — La physiologie pathologique et les diverses formes de fracture de la colonne. *Fortschr. Roentgenstrahlen*, 53, p. 422-434, 1936.
- GLORIEUX-ROEDERER. — La spondylolyse et ses conséquences. Masson, 1937.
- GLUCKSMANN A. — The role of mechanical stresses in bone formation in vitro. *Journ. of Anatomy*, 76, 231, 1942.
- GOLDTHWAITE J.E. — The lumbo sacral articulation. An explanation of many cases of « lumbago », « sciatica » and « paraplegia ». *Boston Med. Surg. Journ.*, 164, 365, 1911.
- GREGORY W.K. — The wright posture of man ; a review of its origin and evolution. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, LXVIII, N° 4, 1928.
- GUILLAUME J., JANNY P. — Traitement chirurgical de la lombo-sciatique d'après une statistique de 1.000 cas opérés. *Mém. Acad. Chir.*, T. 79, N° 28, p. 695-702.
- GUILLEMINET M. — Le spondylolisthésis. *Rev. Orth.*, 23, 385-440, 1936.
- GUILLEMINET M. et LATARJET M. — Spondylolisthésis et spondylolyse. *Lyon Chir.*, 33, 371-384, 1936.

- GUILLEMINET M. et LACOUR. — Sur la nature du spondylolisthésis. *Presse Méd.*, 59, 101-102, 1951.
- GUILLEMINET M. et BLANCHET A. — Vicissitudes de l'arthrodèse lombo-sacrée. *Lyon Chir.*, T. 51, N° 4, p. 467, juin 1956.
- GUILLEMINET M., STAGNARA P. — Rôle de l'entorse vertébrale dans les rachialgies. *Presse Méd.*, LX, p. 1.274-1.277, 1^{er} octobre 1952.
- HAGLUND F. — De Bedeutung der cervikalen diskusdegeneration für die Entschung von Veregerung der Foramina intervertebralia (Eine anatomische Untersuchung). *Acta Radiol.*, 23, p. 548-550, 1942.
- HALL GRIMSSON S. — A case of pseudospondylolisthesis with affection of spinal roots. *Acta Orthop. Scand.*, 12, p. 309, 1941.
- HARRIS R.I. — Spondylolisthésis *Annals Royal Coll. Surgeons Engl.*, 8, 259, 1951.
- HARRIS R.I. and MACNAB LAN. — Structural changes in the lumbar intervertebral discs. *J. Bone Jt Surg.*, 36-B, 306, 1954.
- HASNER E., SCHALIMTZEK and SNORRASON E. — Roentgenological examination of the function of the lumbar spine. 37, p. 141, 1952.
- HASEBE K. — Die wirbelsäule des japaner. *Z. Morph. u. Anthropol.*, XV, p. 259, 1912.
- HAYED H. — Ueber spondylolysis. *Zentralb. f. Gyn. Lil.*, 1928.
- HELLSTADIUS A. — Résultats des opérations de blocage vertébral par greffe osseuse en H dans les lombalgies par dégénérescence du disque intervertébral. *Acta Orthop. Scand.*, T. XXIV, Fasc. 3, p. 207-215, 1955.
- HERBERT J.J., LECOQ R. — Etude critique des arthrodèses lombo-sacrées. *Mém. Acad. Chir.*, Tome 80, N° 1-2-3, 46-55, séances des 6, 13, 20 janv. 1954.
- HERBERT J.J. — Lombalgies. Etude mécanique, traitement orthopédique et chirurgical. Réunion scientifique de la Société médicale d'Aix-les-Bains, 17 mai 1953. *Rhumatologie*, N° 6, décembre 1953.
- HERBERT J.J. — Vertebral Osteotomy. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 30-A, p. 680-689, July 1948.
- HERBERT J.J. — A propos des arthrodèses lombo-sacrées. *Lyon Chir.*, T. 53, N° 1, 99-101, janv. 1957.
- HERBERT J.J. — Réflexions sur la technique et les résultats de 42 ostéotomies vertébrales. *Rev. Chir.*, N° 10-11, p. 357-377, 10 fig., déc. 1954.
- HIRSCH Carl and SCHAJOWICZ Fritz. — Studies on structural changes in the lumbar annulus fibrosus. *Acta Orth. Scand.*, 22, p. 184-231, 1953.
- HIRSCH C., SCHAJOWICZ F. — Studies on structural changes in the lumbar annulus fibrosus. *Acta Orth. Scand.*, 22, p. 184-231, 1953.
- HIRSCH C., NACHEMSON A. — New observations on the mechanical behaviour of lumbar discs. *Acta Orth. Scand.*, 23, p. 254-283, 1954.
- HIRSCH Carl. — An attempt to diagnose the Level of a disc lesion centrally by disc Puncture. *Acta Orth. Scand.*, 18, p. 132-140, 1948.
- HIRSCH Carl. — Studies on the mechanism of low back pain. *Acta Orth. Scand.*, 20, p. 261-274, 1951.
- HIRSCHFELD L. — Nouvel aperçu sur les courbures de la colonne vertébrale. *C.R. Soc. de Biol.*, p. 75, 1847.
- HITCHCOCK H.H. — Spondylolisthesis. Observations on its development. Progression and Genesis. *J. Bone Jt Surg.*, 22, 1940.

- HODGES F.J. and PECK W.S. — Clinical and Roentgenological study of low back pain with sciatic radiations. *Amer. Journ. Roentgenol.*, 37, p. 461, 1937.
- HOLLANDER J.L., BROWN E.M., JESSER R.A., BROWN C.Y. — Hydrocortisone and cortisone injected into arthritic joints. *J.A.M.A.*, 147, 1.629-1.635, 1951.
- HOOTON E.A. — The asymmetrical character of human evolution. *Am. Journ. Physic. Anthropol.*, 8, p. 125, 1925.
- HOOTON E.A. — *Twilight of Man*. New-York, G.P. Putman's sons, 1939.
- HORWITZ Thomas. — Lesions of intervertebral disc and ligamentum Flavum of the lumbar vertebrae. An anatomic study of 75 Human Cadavers. *Surgery*, 6, p. 410, 1939.
- HOVELACQUE André. — Le nerf sinu-vertébral. *Ann. d'Anat. Pathol. Méd. Chir.*, 2, 435-443, 1925.
- HOVELACQUE. — *Ostéologie*, T. III. Doin, édit., Paris, 1937.
- HOWARTH F., COOPER E. — Exploration des disques intervertébraux par myélographie. *The Lancet*, 19 nov. 1949.
- HULBERT N.O. — Spondylolisthesis with cauda equina lesions. *Proc. Royal Soc. Med.*, 41, 97-103, 1948.
- HULT, LENNART. — Cervical, dorsal and lumbar spinal syndromes. A field investigation of a non-selected material of 1.200 workers in different occupations with special reference to disc degeneration and so-called muscular rheumatism. *Acta Orthop. Scand.*, suppl. 17, 1954.
- IMBERT R. et SAMBUC R. — Résultats comparatifs de la méthode orthopédique et du traitement sanglant des fractures récentes et non compliquées du rachis dorso-lombaire. *Lyon Chir.*, Tome 49 N° 4, p. 487, mai-juin 1954.
- INGELMANS P. et MULLER P.H. — Lombalgies post-traumatiques et accidents du travail. *Revue du Praticien*, Tome V, N° 18, 21 juin 1955.
- INMAN V.T., J.B. de C.M. SAUNDERS. — Referred pain from skeletal structures. *J. Nerv. Ment. Dis.*, 99, 660-667, 1944.
- INMAN V.T., J.B. de C.M. SAUNDERS. — Anatomicophysiological aspects of injuries to the intervertebral disc. *J. Bone Jt Surg.*, 29, 461, 1947.
- ITO Hiromu, TSUCHIYA Junichi, ASAMI Goichi. — A new radical operation for Potts disease. *J. Bone Jt Surg.*, 16, 499-515, July 1934.
- JACBOVICI. — L'angiome vertébral. *Rev. Orthop.*, 26, p. 5-19, 1939.
- JAMES A., NISBET N.W. — Posterior intervertebral fusion of the lumbar spine. *J. Bone Jt Surg.*, 35-B, p. 181-187, 1953.
- JASLOW I.A. — Intercorporeal Bone Graft in spinal fusion after disc removal. *Surg. Gyn. Obst.*, 82, p. 215-218, 1948.
- JEFFERSON G. — Discussion of spinal Injuries. *Proc. Roy. Soc. Med.*, 21, 1928.
- JOHNSON R.W. — Posterior Luxation of the lumbosacral. *J. Bone J. Surg.*, 16, p. 867, 1934.
- JOHNSON R.W., HILLMAN J.W., SOUTHWICK W.O. — The importance of direct surgical attack upon lesions of the vertebral bodies, particularly in Potts disease. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 35-A, 17,25, janv. 1953.

- JOHNSONT H.M. — The cutaneous branches of the posterior primary divisions of the spinal nerves, and their distribution in the skin. *Jour. Anat. Phys.*, 43, p. 80-92, 1908.
- JORES L. — Experimentelle untersuchungen über die Einwirkung Mechanischen druckes auf den Knochen. Beitrage zur pathologischen anatomie und zur allgemeinen. *Pathologie*, 66, p. 433. 1920.
- JUDET H., JUDET J. et LAGRANGE J. — Les greffes vertébrales vissées. *Mém. Acad. Chir.*, Tome 80, n° 4-5, janv.-fév. 1954.
- JUNG Adolphe, BEUNSCHWIG Alexandre. — Recherches histologiques sur l'innervation des articulations des corps vertébraux. *Presse Méd.*, 40, p. 316-317, 1932.
- JUNGHANNS H. — Spondylolisthesen ohne Spalt Im Zwischengelenkstück (pseudospondylolisthesen). *Arch. für orthopädische und unfallchirurgie*, 29, p. 118, 1930.
- KAPLAN E.B. — Recurrent meningeal branch of the spinal nerves. *Bul. Hop. Joint Dis.*, 8, p. 108-109, 1947.
- KEITH Sir A. — Man's posture. Its evolution and disorders. *Brit. Med. Journ.*, 1, 451, 499, 545, 587, 624, 669, 1923.
- KELLGREN J.H. — Observation on referred pain arising from muscle. *Clin. Science*, 3, p. 175-190, 1938.
- KELLGREN J.H. — On the distribution of pain arising from deep somatic structures. *Clin. Science*, 4, p. 35-46, 1939.
- KEEGAN J.J. — Alterations of the lumbar curve related to posture and seating. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 35-A, p. 589-603, 1953.
- KEYS D.C. and COMPERE E.L. — The normal and patholigical physiology of the nucleus pulposus of the intervetebral disc.. An anatomical, clinical and experimental study. *J. Bone Jt Surg.*, 14, p. 897-938, oct. 1932.
- KEYS J.A. — Intervertebral disc lesions are the most common cause of low-back pain with or without sciatica. *Ann. Surg.*, 121, p. 534, 1945.
- KIEPURSKA A. — Spondylolisthésis. *Revue Polonaise de Chirurgie orthopédique*, T. XXI, fasc. 2, p. 124-140, 13 fig., 1956.
- KIMBERLAY A.G. — Low back pain and sciatica. Its etiology, diagnosis and treatment. *Surg. Gyn. Obst.*, 65, p. 195, 1937.
- KING D. — Internal fixation for lumbosacral fusion. *J. Bone Jt Surg.*, 30-A, 560, 1948.
- KLEINBERG S. — Subluxation unilatérale de la charnière lombo-sacrée. *J. Bone Jt Surg.*, 14, p. 384, avril 1932.
- KNUTSON F. — The instability associated with disc degeneration in the lumbar spine. *Acta Radiologica*, 25, 1944.
- KNUTSSON F. — Myelogram following operation of herniated disc. *Acta Rad.*, XXXII, 1949.
- KNUTSSON F. — Lumbar myelography with water soluble in cases of disc prolapse. *Acta Orthop. Scand.*, p. 294, 1951.
- KNUTSSON F. — *Acta Orthop. Scand.*, XX, p. 294, 1951.
- KOCH John C. — Laws of Bone architecture. *Amer. Journ. Anat.*, 21, p. 177, 1917.
- KUHNS John G. — Conservative treatment of sciatic pain in low back disability. *J. Bone Jt Surg.*, 23, p. 435, 1941.

- LA CHAPELLE E.H. — Ostectomy of the lumbar spine for correction of Kyphosis in a case of ankylosing spondylo arthritis. *J. Bone St Surg.*, 28, p. 851-858, July 1946.
- LACROIX P. — The organisation of bones, London. J. and A. Churchill L.T.D.
- LACAPERE. — Remarques sur les articulations des corps vertébraux et signification du terme amphiarthrose. *Rev. Rhumat.*, XVIII, 456. 1951.
- LAGARDE. — De la maladie de Scheuermann. *J. Radiol. Elect.*, XXXI, 10, 1947.
- LAHEY F.H., WARREN K.W. — Esophagic Diverticula. *Surg. Gyn. Obst.*, 98, 1-128, 1954.
- LANIER R.R. Jr. — The presacral vertebral of white and negro males. *Amer. Journ. Phys. Anthropol.*, 25, p. 341, 1939.
- LANCE M. — Traitement des scolioses graves par la méthode d'Abott. Maloine édit., Paris, 1914.
- LANCE M. — Scoliose in tome Orthopedie, traité de médecine. Maloine, édit., Paris, 1938.
- LANCE. — A propos des épiphysites de croissance. *Mémoires de l'Académie Chir.*, LI, 1.380, 1927.
- LANGENSHOLD et EDGREN. — Mécanisme de la croissance des cartilages épiphysaires à la lumière d'observations expérimentales. *Acta. Orthop. Scand.*, XIX, 1949.
- LATARGET et MAGNIN. — Exploration des disques intervertébraux par pyélographie. *Journ. de Méd. de Lyon*, p. 347, mai 1951.
- LAURENCE G. — Anatomo-physiologie et physio-pathologie de la colonne lombo-sacrée. *Rev. du Praticien*, T. V, n° 18, 21 juin 1955.
- LAWSON J.D. — Dislocation vertébrale latérale : 3 cas. *Journ. Bone Jt Surg.*, 14, p. 387-390, avril 1932.
- LAYANI F., PERTUISSET B., METZGER J. — Radiculographie lombaire après injection intra-rachidienne de substance de contraste hydro-soluble et résorbable (L.F.R., séance du 14 nov. 1956). *Revue du Rhum.*, 24^e année, n° 3, mars 1957.
- LE BOITEUX H., BOUSSARD R. — Elasticité et Photoélasticimétrie. Paris, Hermann et Cie, édit., 1940.
- LENHARD R.E. — End-result study of the intervertebral disc. *J. Bone Jt Surg.*, 29, p. 425, 1947.
- LEVERING J.W. — Chordome sacrococcygien. *Amer. Journ. Chir.*, vol. 90, N° 3, p. 531-534, sept. 1955.
- LÉVY. — Contribution à l'étude de la 5^e lombaire normale chez l'adulte. Thèse Paris, 1925.
- LÉRI A. — Etudes sur les affections de la colonne vertébrale. Vol. I, Masson édit., Paris, 1926.
- LEWIS T. and KELLGREN J.H. — Observations relating to referred pain, viscero-motor reflexes and other associated phenomena. *Clin. Science*, 4, p. 47-71, 1939.
- LINDBLOM K. — Protusions of discs and nerves compression in the lumbar region. *Acta Radiologica*, 25, p. 195-212, 1944.
- LINDBLOM K. — Technique and results of diagnostic disc puncture and injection (Discography) in the lumbar region. *Acta Orthrop Scand.*, 20, p. 315-326, 1951.
- LINDBLOM K. — Intervertebral-disc degeneration considered as a pressure atrophy. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 39, N° 4, 932-945, juillet 1957.

- LINDBLOM K. — Lumbar myelography by abrodil. *Acta Radiol.*, 27, p. 1-7, 1946.
- LINDBLOM K. — Technique and results in myelography and disc puncture. *Acta Radiol.*, 34, p. 321-330, 1950.
- LINDBLOM K. — Backache and its relation to ruptures of the intervertebral discs. *Radiology*, 57, 710-719, 1951.
- LINDBLOM K. — Experimental ruptures of intervertebral discs in rats'tails. *J. Bone Jt Surg.*, 34-A, 125-128, janv. 1952.
- LINDBLOM A. — Exploration des disques intervertébraux par myélographie. *Acta Rad.*, V, p. 129, 1926.
- LINDBLOM K. — Diagnostic puncture of intervertebral disc degeneration in the Lumbar spine. *Acta Radiologica*, 25, p. 231, 1948.
- LINDBLOM K. — Eine anatomische studie uber lumbale Zwischenscheibenprotrusionen und Zwischenwirbelscheibenbrüche in die Fira-mina intervertebralia hinein. *Acta Radiologica*, 22, p. 711-721, 1941.
- LICHTBLAU Philip. O., WILSON P.D. — Possible mechanism of aortic rupture in orthopadic correction of rhumatoïd spondylitis. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 38-A, N° 1, p. 123-127, 17 fig., janvier 1956.
- LILLY G.D., SMITH D.W., BIGGANE C.F. — An evolution of « High » lumbar sympathectomy in arteriosclerotic circulatory insufficiency of the lower extremities. *Surgery*, 35, 1-8, 1954.
- LOVE J.G. — The disc factor in low back pain, with or without sciatica. *J. Bone Jt Surg.*, 29, p. 438, 1947.
- LOVE J.G. and WALSH M.N. — Intraspinial protrusion of intervertebral discs. *Arch. Sur.*, 40, p. 454, 1940.
- LOMBARD P. — Dans le spondylolisthésis, l'intervention est-elle vraiment justifiée. *Rev. Chir. Orthop.*, 39, 107-110, 1953.
- LOESCHKE H. and WEINNOLT H. — Über den Einfluss von Druck und zur Entspannung auf des Knochenwachstum des Schädels. *Beitrage zur Pathologischen Anatomie uned zur allgemern Pathologie*, 70, 406, 1922.
- LONGUET Y.L. et SAROLL J. — Spondylolisthésis. *Encyc. Méd. Chir.*, Rachis, 13.385, A10, 1953.
- LUSCHKA, von H. — Die Halbgelenke des Menschlichen Körpers. Berlin, Georg. Reimer, 1858.
- LUSCHKA, von Herbert. — Die Nerven des menschlichen Wirbelkansles Tubingen H. Laupp, 1850.
- LUCKUM, von H.L. and SMITH. — Critical observations of the results in the Operative treatment of scoliosis. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 31-A, p. 102, 1949.
- LUCKUM, von H.L. — The lumbo-sacral region. An anatomical study and some clinical observations. *J. Amer. Med. Ass.*, 82, p. 1.109, 1924.
- MACCOONAILL M.A. — The mechanical structure of articulating cartilage. *J. of Bone Jt Surg.*, 33-B, p. 251, 1951.
- MACNAB I. — Spondylolisthesis with an intact naural arch. *J. Bone Jt Surg.*, 32-B, p. 325, 1950.
- McBRIDE E.D. — A mortised transfacet bone block for lumbosacral fusion. *J. Bone Jt Surg.*, 31-A, 385, 1949.
- McCOUGH G.P., DEERING I.D. and LING T.H. — Location of receptors for tonics neck reflexes. *J. Neurophysiol.*, 14, 1951.

- MCLEAN F.C. and URIST M.R. — Bone, an introduction to the physiology of Skeletal tissue. University of Chicago Press, 1955.
- MAIL F.P. — On centres of ossification in Human Embryos less than 100 days old. *Amer. Jour. Anat.*, 5, p. 433, 1896.
- MAGOT R. — La technique des coupes obliques appliquée à la tomographie de l'interligne lombo-sacré. *Thèse Paris*, 1956.
- MANNERS-SMITH T. — The variability of the lumbar Vertebrae. *Jour. Anat.*, XLIII, p. 146, 1909.
- MARFAN. — Maladie de Marfan et maladie de Scheuermann. *Thèse*, 1951.
- MARIQUE. — Le spondylolisthésis. *Acta Chir. Belg.*, 1951.
- MAURIC. — Le disque intervertébral. *Thèse Paris*, 1951.
- MATHIEU P. et DEMIRLEAU J. — Traitement chirurgical du spondylolisthésis douloureux. *Rev. Orth.*, 23, 352-353, 1936.
- MELAMED A. and ANSFELD D.J. — Posterior Displacement of lumbar Vertebrae. Classification and Criteria for Diagnosis of true retro-displacement of lumbar vertebrae. *Amer. Journ. of Roentgenology*, 58, p. 249, 1947.
- MÉNARD V. — Etude pratique sur le Mal de Pott. Paris, Masson, 1900.
- MERLE D'AUBIGNÉ R. — Traitement chirurgical du spondylolisthésis. *Acta Chir. Belg.*, 50, 367-369, 1951.
- MERLE D'AUBIGNÉ R. — Arthrodèse par voie transpéritonéale pour le traitement des spondylolyses et spondylolisthésis de la 5^e lombaire. *Mém. Ac. Chir.*, 78, 210-219, 1952.
- MERLE D'AUBIGNÉ R., CAUCHOIS J., RAMADIER J.O. — L'arthrodèse lombo-sacrée dans le traitement des lombo-sciatiques et du spondylolisthésis.
- MERLE D'AUBIGNÉ R. — Chirurgie réparatrice. Expansion scientifique, 2^e série.
- MÉRIAL P., BONHOURE L., RUFFIÉ R., PUTOIS P. — Le rôle des anomalies transitionnelles de la charnière lombo-sacrée dans l'étiopathogénie des lombo-sciatiques. *Soc. Méd. Trav. Région Toul.*, 20 mars 1954.
- MEYER G.H. — Die Statik und Mechnik des Menschlichen Knochengerustes, 1873.
- MEYERDING H.W. — Spondylolisthesis as an Etiologic Factor in Backache. *Jour. Amer. Med. Ass.*, 111, 1938.
- MEYERDING H.W. — Low backache and sciatic pain associated with spondylolisthesis and protuded intervertebral disc ; incidence, significance and treatment. *J. Bone Jt Ass.*, 23, p. 461, 1941.
- MESCHAN L. — A radiographic study of spondylolisthesis with special reference to stability determination. *Radiology*, 47, p. 249, 1946.
- MICHEL G., MUTEL M. et ROUSSEAU R. — Les traumatismes fermés du rachis. Masson, éd., Paris 1933.
- MICHELE A.A. and KRUEGER F.J. — Surgical approach to the vertebral body. *Journ. Bone Jt Surgery*, vol. 31-A, p. 873-878, octobre 1949.
- MITCHELL G.A.G. — The lumbosacral junction. *J. Bone Jt Surg.*, 16, p. 233, 1934.
- MICHOTTE L.J. — Le syndrome des épineuses. *Rev. Rhumatol.*, 16, p. 249, juin 1949.
- MIXTER W.J. and BARR J.S. — Rupture of the intervertebral disc with involvement of the spinal canal. *New Eng. Jour. Med.*, 211, p. 210-215, 1934.

- MOCQUOT et BAUMAN. — L'épiphysite vertébrale. *Rev. Orth.*, XVIII, 648, 1931.
- MONATERI P.C. — Considerazioni clinico radiologiche su un caso di emi-sacralizzazione della V lombare associata a spondylolistesi della IV lombare. *Minerva Med.*, 43, 367-373, 1952.
- MOODIE. R.L. — Paelopathology, Urbana, Univ. XIII Press, 1923.
- MORGAN FRANCIS P. and KING Thomas. — Melbourne, Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *J. Bone Jt Surg.*, 39-B, N° 1, p. 6-21, 1957.
- MORTON D.J. — The human foot. New-York, 1935.
- MOUCHET et ROEDERER. — Sur une forme particulière d'ostéochondrite vertébrale des adolescents. *Bull. et Mém. Sci. Nat. Chir.*, LIII, 366, 1927.
- MOUCHET et BUTET. — A propos du « sacrum basculé » ou « sacrum horizontal » causes souvent méconnues d'algies lombo-sacrées. *Rev. Orthop.*, 31, n° 3-4, p. 105, 1945.
- MOUCHET A. — L'ostéoarthrose interépineuse (maladie de Bastrup, kissing spine). *Paris Méd.*, 36, n° 30, 27 juillet 1946.
- MULLER W. — Dislocation latérale spontanée des vertèbres lombaires chez les vieillards scoloptoques. *Arch. f. Orthop. Unfall Chir.*, 33, 1933.
- MURRAY P.F.D. — Bones, A study of the development and structure of the vertebrate skeleton. Cambridge : Univ. Press, 1936.
- NACHLAS I.W. and SIMPSON J.E. (oct. 1952). — End-Results study of the treatment of herniated Nucleus Pulposus by excision with fusion and without fusion. *J. Bone Jt Surgery*, 34-A, 981-988.
- NEUGEBAUER F. (1892). — Spondylolisthésis et spondylisme, Paris.
- NICHOLS et SHIFLETT. — Epiphyses non soudées des dernières vertèbres lombaires. *Réf. Zerg. Chir.*, 21 (1934).
- NORTON P., BROWN T. — The immobilizing efficiency of back braces. *J. Bone Jt Surg.*, 39-A, N° 1, 111-139, 30 fig. (janv. 1957).
- O'CONNELL J.E.A. — Protrusion of the lumbar intervertebral discs. A clinical review based on five hundred cases treated by excision of the protrusion. *J. Bone Jt Surg.*, 33-B, 8-30 (fév. 1951).
- OMBRÉDANNE L. — Précis clinique et opératoire de chirurgie. Masson, Paris, 1944.
- PADOVANI. — Douleurs du dos d'origine psychique. *Revue Orthop.*, XXXVII, 139, 1951.
- PAPILLAUT M.G. — Variations numériques des vertèbres lombaires chez l'homme, leurs causes et leur relation avec une anomalie musculaire exceptionnelle. Paris, 5 mai 1898.
- PEARL F.L. — Muscle splitting extraperitoneal lumbar ganglionectomy. *Surg. Gyn. and Obst.*, 65, p. 107-112, 1937.
- PEDERSEN H.E., BLUNT C.F.J., GARDNER E. — The anatomy of lumbo-sacral posterior rami and meningeal branches of spinal nerves. *J. Bone Jt Surg.*, vol. 38-A, n° 2, p. 377-391, 1956.
- PERREAU C. — Le spondylolisthésis sans spondylolyse. *Thèse Paris*, 1956.
- PEREY Olof. — Contrast medium examination of the intervertebral discs of the lower lumbar spine. *Acta Orthop. Scand.*, 20, p. 327-334, 1951.

- PETIT-DUTAILLIS D., DE SÈZE S. — Sciatique et lombalgie par hernie postérieure des disques intervertébraux. Masson, éd., 1944-1945.
- PETERSEN H. — Ueber die Mecanische Bedeutung des Baues der Aortenwand. *Arch. f. Entw. Mech. der Org.*, 1925.
- PIZON P. — Les lombalgies, étude générale. *Ann. Méd. Lég.*, XXXIII, p. 317-332, 1953.
- PIZON P. — Radiologie des lombalgies. *Ann. Méd. Lég.*, XXXIII, p. 333-342, 1953.
- PIZON P. — Les apophyses vertébrales lombaires. *Presse Médicale*, 20 mars 1957, p. 543-546, 17 fig.
- PIZON P. — La 5^e vertèbre lombaire. *Atlas de Radiologie clinique de la Presse Médicale*, n° 81, 1953.
- POIRIER P. et CHARPY A. — Traité d'anatomie humaine.
- POPPEN James L. — The herniated intervertebral disc. An Analysis of 400 verified cases. *New Eng. Jour. Med.*, 232, p. 211, 1945.
- POSTH M. — Le sacrum. Thèse Paris.
- PUSCHEL J. — Der Wassergehalt Normaler und decnierter Zwischenwirbelscheiben. *Beitr. Pathol. Anat.*, 84, 123, 1930.
- PUTTI V. and LOGROSCINO D. — Anatomia dell'artritis-vertebrale spfisiario. *Arch. Neur. and Psychiat.*, 44, 1940.
- RAINER Fr. J., COTAESCU. — Contribution à l'étude de l'appareil fibreux de la colonne vertébrale. Imprimerie Nationale, Bucarest, 1945.
- RAINER Fr. J., ROBACKI R. — Etude morphologique et fonctionnelle des ligaments intercruraux de la colonne vertébrale humaine. Imprimerie Nationale, Bucarest, 1945.
- RAMBAUD A., RENAULT Ch. — Origine et développement des os. Paris, 1864.
- RADLAUER. — Beitrage zur Anthropologie. D. Kreuzbeines Morph. Jahr. Bd. 38, 1908.
- RAY R.D. — Needle Biopsy of the lumbar vertebral Bodies. A modification of the valls Technique. *J. Bone Jt Surg.*, vol. 35-A, p. 760-762, July 1953.
- REINHARDT K., PANTER K. — Les procédés myélographiques. Résultats et risques. *Journ. Radio. Elect.*, XXXVI, p. 159, 1955.
- RENOVALES. — Néoartrhose interépineuse vertébrale ou maladie de Bastrup. *Rev. Clin. Espan.*, 37, N° 1, 15 avril 1950.
- REXED B. — Arachnoïdal proliferation with cysts. *S. Neurosurgery*, IV, p. 414-421, 1941.
- ROBINSON R.A., SMITH G. — Anterolateral cervical disc removal and interbody fusion for cervical disc syndrome. *Bull. Johns Hopkins hosp.*, 96, 223-224, 1955.
- ROBSON P.N. and TIBBS D.J. — Newcastle, England. Aneurysm Complicating traumatic spondylolisthesis. *J. Bone Jt Surg.*, vol. 39-B, n° 3, p. 498-501, 3 fig., Aug. 1957.
- ROBERTSON R.C. and BALL R.P. — Destructive spine lesions. Diagnosis by Needle biopsy. *J. Bone Jt Surg.*, 17, p. 749-758, July 1935.
- ROOFE Paul. — Innervation of annulus fibrosus and posterior longitudinal ligament. *Arch. Neurol. and Psychiat.*, 44, p. 100-103, 1940.
- ROUSSET J. — Un cas de spondylolisthésis traumatique. *Mémoires de l'Académie de Chirurgie*, t. 78, n° 23, p. 665-666, 2 fig., 2 juillet 1952.

- ROSENBERG E. — Ueb. die Entwicklung D. Wirbelsäule. *Morph. Jahrb* Bd. 1, 1876.
- ROEDERER C. — Les erreurs auxquelles donnent lieu la lombalisation et la sacralisation. *Bull. et Mém. de la Soc. de Médecine de Paris* 24 novembre 1934.
- ROUVIÈRE H. — *Traité d'Anatomie*, Masson.
- ROYLE N.D. — The treatment of spastic paralysis by sympathetic Rami-section. *Surg. Gyn. Obst.*, 39, 701-720, 1924.
- ROWE G.G. and ROCHE M.B. — The etiology of separated neural arch. *J. Bone Jt Surg.*, 35, 102-110, 1953.
- RUDINGER D. — Die Gelenknerven des Menschlichen Körpers. Erlanger Ferdinand Enke, 1857.
- ROUVIÈRE H. — Sur la texture des disques intervertébraux. *Comptes rendus des séances de mémoires de la Société de Biologie*, 85. p. 156, 1921.
- SAIDMANN. — *Maladies de la colonne vertébrale*. Doin édit., Paris, 1948.
- SAUNDERS J.B. de C.M. and INMAN V.T. — Pathology of the intervertebral disc. *Arch. Surg.*, 40, 389-416, 1940.
- SCHINZ H.R., BAENSCH W.E., FRIEDL F. and UEHLINGER E. — *Roentgen Diagnostics ; Skeletons*. Vol. 2, p. 1.507, London. William Heinemann Medical Books Ltd., 1952.
- SCHMORL G., JUNGMANNS H. — *Die Gesunde und die Kranke Wirbelsäule im Rogenbild und Klinik*. 3^e Auflage. Stuttgart Georg. Thieme Verlag, 1953.
- SCHMORL George. — Beitrag zur Kenntniss des Spondylolisthesis. *Deutsche Zeitschr. f. Chir.*, 237, Hft. 7, 8, 9, 1932.
- SCHMORL G., JUNGMANNS. — *Die gesunde und Kranke Wirbelsäule in Roentgenbild*. Leipzig, Georg. Thieme, 1932.
- SCHREINER K.E. — Zur osteologie der Lappen. *Instit. f. Sammen lignende Kulturforserie B. Skrifter*, Vol. 18-1, Oslo, 1935 ; Vol. 18-2, Oslo, 1931.
- SCHREIBER J. — Contribution à l'étude de la détérioration structurale du disque intervertébral à la région dorsale chez l'adulte. *Thèse* Paris, 1956.
- SCOTT J.H. — The mechanical basis of bone formation. *J. Bone Jt Surg.*, 39-B, N °1, p. 134-144, 16 fig., February 1957.
- SCHULTZ A.H. — The skeleton of the trunk and limbs of higher Primates. *Human Biol.*, 2, p. 303, 1930.
- SCHULTZ A.H. — Proportions, variability and asymetries of the long bones of the limbs and the clavicles in man and Apes. *Human Biol.*, 9, p. 281, 1937.
- SCHULTZ A.H. and STRAUS W.L. — The numbers of vertebrae in primates. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 89, p. 601, 1945.
- SCHWEGEL Andr. — Knochenrarietaten. *Zeitschr. f. Rat. Med.*, 283, 1859.
- SÈZE (de) S. et DURIEUX J. — Le spondylolisthésis. *Sem. Hôp. Paris*, 23, 1.551-1.578, 1947.
- SÈZE (de) S. et DJIAN A. — Lomalgies et lombo-sacralgies sciatiques et lombosciatiques. *Revue du Praticien*, tome 5, n° 18, 21 juin 1955.
- SÈZE (de) S., MAITRE H. — Traitement des lomalgies et des lombo-sciatiques dues à la détérioration structurale des disques intervertébraux. *Revue du Praticien*, tome 5. n° 18, 21 juin 1955.

- SÈZE (de) S., ROTES-QUEROL. — Diagnostic radiologique de la hernie discale postérieure en station verticale. *Sem. Hôp. Paris*, N° 25, 14 avril 1950.
- SÈZE (de) S. et GUILLAUME J. — Technique chirurgicale conservatrice de la sciatique discale. *Presse Médicale*, n° 30, 29 juin 1946.
- SÈZE (de) S. — Huit entretiens sur le rôle du disque intervertébral et les syndromes douloureux de la charnière lombo-sacrée. *Revue Rhumat.*, XVIII, 331, 1951.
- SÈZE (de) S., LEVERNIEUX J. — La discographie. *Bul. et Mémoires de la Soc. Méd. Hôp. de Paris*, n° 3-4, p. 163, 1952.
- SÈZE (de) S. et collaborateurs. — Algies vertébrales d'origine statique. *L'expansion scien. franç.*, 1949.
- SÈZE (de) S., NEMOURS A. — Sur l'origine des douleurs sciatiques dans les sacralisations et lombalisations et leurs traitements. *Revue du Rhumatisme*, fév. 1942.
- SÈZE (de) S., SALOFF J. — Origine des douleurs dans la sacralisation douloureuse. Importance des altérations du disque charnière. *Revue du Rhumatisme*, déc. 1947.
- SÈZE (de) S., SALOFF J. — Nouvelles données sur le problème de la sacralisation douloureuse. Rôle des altérations du disque mobile sus-jacent à la pièce transitionnelle. *Revue de Neurologie*, T. 79, N° 6, 1947.
- SÈZE (de) S. — 11^e Conférence du Rhumatisme : Aix-les-Bains. Impr. Réunis, Chambéry, juin 1948.
- SÈZE (de) S., SALOFF J. — Sacralisation douloureuse. Les anomalies transitionnelles de la charnière lombo-sacrée. *L'Expansion Scient.*, éd. 1951.
- SÈZE (de) S., DJIAN A. — Comment radiographier un cas de lombo-sciatique et comment interpréter le résultat. *Revue Méd. Franç.*, XXXVI, p. 659, 1955.
- SÈZE (de) S., YVON. — *Semaine des Hôpitaux*, p. 821, 1941.
- SHAW E.G., SWINDON. TAYLOR J.G. — The results of lumbo-sacral fusion for low back pain. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 38-B, N° 2, p. 485-497, 17 fig., May 1956.
- SHEPHERD J.A. — Chordome sacrococcygien. *British Journal of Surgery*. Vol. 42, N° 175, p. 516-519, 4 fig., mars 1955.
- SHORE L.R. — Abnormalities of the vertebral column in a series of skeletons of Bantu natives of South Africa. *Journ. Anat.*, 64, p. 206, 1930.
- SHORE L.R. — Polyspondylitis marginalis osteophytica. *Brit. Journ. Surg.*, 22, p. 850, 1935.
- SICARD A. — Traitement chirurgical des arthroses lombo-sacrées. *Jour. Chir.*, T. 73, N° 3, p. 257-267, 8 fig., mars 1957.
- SICARD A. — L'arthrodèse lombo-sacrée antérieure par greffon encastré. *Jour. Chir.*, T. 72, N° 5, p. 474-486, 10 fig., 1956.
- SICARD A. — Les anomalies de la charnière lombo-sacrée. *Presse Méd.*, LVIII, p. 1.112-1.113, 11 oct. 1950.
- SICARD A., LEGA A. — Les spondylolisthésis traumatiques. *Presse Méd.*, LX, p. 914-918, 18 juin 1952.
- SICARD A., MAKLOUF A. — Lombo-sacralgies traumatiques. *Jour. Méd. Pharm.*, Beyrouth, 15 novembre 1952.
- SICARD A., CHARLES G. — Les fractures des isthmes lombaires, fig. 12. *Journ. de Chirurgie*, T. 72, N° 2, p. 151-169, février 1956.

- SICARD A., TERQUEM J. — Mal de Pott lombo-sacré, cause souvent méconnue des lombo-sciatiques. *Presse Médicale*, T. 62, N° 38, p. 799-803, 26 mai 1954.
- SICARD A. — La pathogénie des spondylolisthésis. *Le Sud Méd. Chirurgical*, p. 2.918-2.920, 31 déc. 1943.
- SICARD A., LECA A. — 1.000 cas de sciatique opérés. Résultats de 1 à 11 ans. *Presse Médicale*, T. 64, N° 72, p. 1.636-1.637, 10 oct. 1956.
- SICARD A., GODET R., DRAHEZ C., HEKMAT H. — L'intradermographie au Méthiodal dans le diagnostic des lombo-sciatiques. *La Presse Médicale*, 65, N° 68, 1.521-1.525, 9 fig., 1957.
- SIEFFERT R.S. and ARKIN A.M. — Trophine biopsy of bone with special reference to the lumbar vertebral bodies. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 31-A, p. 146-149, janv. 1949.
- SICARD A. — Le rôle de la hernie discale dans la sacralisation douloureuse. *Acad. Chir.*, 1941.
- SICARD A., GODET R., DRAHEZ C. et HEKMAT. — L'intradurographie au Méthiodal dans le diagnostic des lombo-sciatiques. *Acad. Chir.*, séance du 12 juin 1957.
- SIMPSON G.G. — Tempo ans mode in evolution. New-York, Columbia Univ. Press, 1944.
- SINCLAIR D.C., FEINDEL W.H., WEDDELL G., FALCONER M.A. — The intervertebral ligaments as a source of segmental pain. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 30-B, p. 515, 1948.
- SLIJPER E.J. — Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals. Mon. Med. Akad. WE. verh. (Tweede Dectie) : 1946.
- SMITH A. de F. — Posterior displacement of the fifth lumbar vertebrae. *J. Bone Jt Surg.*, 16, p. 877, 1935.
- SMITH A. de F., DEERY E.M. and HAGMAN G.L. — Herniation of the nucleus pulposus. A study of 100 cases treated by operation. *J. Bone Jt Surg.*, 26, p. 821, 1944.
- SOUTHWICK W.O. and ROBINSON R.A. — Surgical approaches to the Vertebral bodies in the cervical and lumbar regions. *J. Bone Jt Surg.*, Vol. 39-A, N° 3, p. 631-645, 18 fig., June 1957.
- SORREL et DELAHAYE. — Cyphose des épiphysites de croissance et en particulier de l'épiphysite vertébrale douloureuse des adolescents. *Presse Médicale*, XXXII, 587, 1924.
- SORREL et SORREL-DEJERINE. — Tuberculose osseuse et ostéo-articulaire. Paris, Masson édit., 1932.
- SPEED J.S. and KNIGHT R.A. — Campbell's Operative orthopedies, Ed. 3, St-Louis. The C. V. Mosby Co, 1956.
- SPURLING, GRANDHAM. — Ruptures discales de la portion basse du rachis lombaire. *Amer. Jour. Surg.*, 140, 1948.
- SPURLING R.G., BRADFORD F.K. — Neurological aspects of herniated nucleus pulposus. At the fourth and fifth lumbar inter spaces. *J.A.M.A.*, 113, 1939.
- SPERANSKY A.D. — L'os sacré de l'homme : sa forme, sa fonction, hérédité des caractères acquis. Société d'Anthropologie de Paris, séance du 5 mars 1925, p. 30 à 78.
- STAGNARA P., QUENEAU P. — Scolioses évolutives en période de croissance. Rapports à la XXVIII^e réunion annuelle de la Société Française d'orthopédie, Paris, 7 octobre 1953.

- STEINDLER. — Maladies de difformités du rachis et du thorax. Mosby C°, édit., Saint-Louis, 1929.
- STEWART T.D. — Spondylolisthesis without separate neural arch. (Pseudo-spondylolisthesis of Junghanns). *J. Bone Jt Surg.*, 17, p. 640, 1935.
- STEWART T.D. — Incidence of separate neural arch in the lumbar vertebrae of eskimos. *Amer. Jour. Phys. Anthrop.*, 16, p. 51, 1931.
- STRAUB L.R. — Lumbo-sacral fusion by metallic fixation and Grafts. *J. Bone Jt Surg.*, 31-B, 478, 1949.
- STRAUS W.L. — The human ilium, sex and stock. *Amer. Jour. Phys. Anthrop.*, II, 1927.
- STEINDLER Arthur and LUCK. — Differential Diagnosis of pain low in the Back. *J. A.M.A.*, 110, p. 106, 1938.
- SWAIN L.T. — The orthopaedic treatment of Marie-Strumpell Arthritis. *J. Bone Jt Surg.*, 21, 983-991, October 1939.
- TAILLARD W. (Zurich). — Les lésions des petites articulations vertébrales dans le spondylolisthésis. Association des orthopédies suisses. Assemblée annuelle 216. Genève, mai 1955.
- TANZ S. — Motion of the Lumbar spine. A roentgenologie Study. *Amer. J. Roentgenol.*, 69, 399-412, 1933.
- TAVERNIER, VINCENT, GODINOT. — Lombalgie par arthrite des petites articulations anormales entre les épineuses lombaires, guérie par la résection de ces apophyses. *Journ. Radiol. Elect.*, N° 20, p. 78-93 1936.
- TAVERNIER, VINCENT, GODINOT. — Lombalgie par arthrite des petites articulations anormales entre les épineuses lombaires, guérie par la résection de ces apophyses. *Revue Rhum.*, 10, n° 8, p. 92, août 1943.
- TAVERNIER. — L'épiphyse vertébrale. *Lyon Chir.*, XXXVII, 219, 1943.
- TAVERNIER. — Dysplasie épiphysaire à localisations multiples. *Lyon Chir.*, XLI, 483, 1947.
- TESTUT L., LATARJET A. — Traité d'Anatomie humaine.
- THIEME F.P. — Lumbar Breackdown caused by erect posture in man with emphasis on spondylolisthesis and herniated intervertebral discs. Année Arber, *University of Michigan*, N° 4, 1950.
- TOBIN W.J. — The Internal architecture of the femur and its clinical significance. *J. Bone Jt Surg.*, 37-A, p. 57, 1955.
- TONNIS W. et GENLACH H. — Localized spondylolysis of the lumbar region. *Zbl. f. Neurochir.*, 11, 321-328, 1951.
- TRIEPEL H. — Ueber gelbes bindegewebe, anat. Anz., 1899.
- TRIEPEL H. — Die architektur der Knochen spongiosa in neuer Auffassung. *Zeitschrift für Konstitutionslehre*, 8, 269, 1922.
- TREMBLAY. — La maladie de Scheuermann. *Union Méd. du Canada*, LXXVIII, 255, 1948.
- TSUKADA K. — Histologische Studien über die Zwischenwirbelscheibe des Menschen. Altersveränderungen. *Mitt. A.D. Akad. zu Kioto.*, 25, 1939.
- TSUKADA K. — Histologische Studien über die Zwischenwirbelscheibe des Menschen. Histologische Befunde des fœtus. *Mitt. a.d. Akad. Zu Kioto*, 24, p. 1.057-1091, 1938.
- TURNER (Sir) Wm. — Report on the human crania and other bones of the skeletons collected during the voyage of R.M.S. Callander, 2d Zoology, vol. 16, 1886. Printed for Her Majesty Stationnery ; in the years 1873-76.

- TURNER J.P. — A cauda equina lesion due to Spondylolisthesis. *Brit. Med. J.*, 11, 28, 1952.
- UEBERMUT Herbert. — Die Bedeutung der alterveränderungen der menschlichen Bandscheiben für die Pathologie der Wirbelsäule. *Arch. f. Klin. Chir.*, 156, 567-577, 1930.
- UNANDER-SHARIN L. — On low-back pain with special reference to the Value of Operative Treatment with Fusion. *Acta Orth. Scand. Supp.*, N° 5.
- VALLS José, OTTOLENGHI C.E. and SCHAJOWICZ. — Aspiration biopsy in diagnosis of lesions of vertebral bodies. *J.A.M.A.*, 136, 376-382 1948.
- VAROLA F. — Sur la spondylose comme cause de lombalgie et sur son traitement chirurgical. *Minerva Chirurgica*, an. 9, n° 6, 244-255. 31 mars 1954.
- VERT S. — Etude radiologique des anomalies de la charnière lombo-sacrée dans les bassins rétrécis. *Thèse Paris*, 1955.
- VIALLET P. — Deux cas de localisation cervicale de la maladie de Bastrup. *Journ. Radiol. Elect.*, 31, n° 3-4, 1950.
- VIDAL-NAQUET. — Un cas de résection des apophyses épineuses dans une cyphose dorsale douloureuse. *Soc. Chir. Paris*, LXI, 571, 1935.
- VORIS H. — End results of « Disc operations » in Industry. *Journ. of International Colleges of Surgeons*, 21, 198, 1954.
- WATSON-JONES R. — Fractures and Joint injuries, 2d ed. Edinburgh, Livingstone, 1943.
- WEINDENREICH F. — Ueber formbestimmende Ursachen am Skelett und die erblichkeit der Knochen forme. *Archiv. Für Entwicklungsmechanik der Organismen*, 51, 436, 1922.
- WEINDENREICH F. — Ueber Schoenverknöcherungen und Faktoren der Knochenbildung. *Zeitschrift für Anatomie und Entwick ungeschichte*, 69, 558, 1923.
- WEINDENREICH F. — The external Tubercle of the Human tuber calcanei. *Amer. Journ. Phy. Anthropol.*, 26, p. 473, 1940.
- WEINDENREICH F. — The Brain and its role in the phylogenetic transformation of human skull. *Trans. Amer. Phil. Soc. (N.S.)*, 31, p. 321, 1941.
- WEINDENREICH F. — Apes giants en Man. Chicago, Univ. Chicago Press, 1946.
- WEINDENREICH F. — The Trend of Human evolution. *Evolution*, 1, 1947.
- WEINMAN J.P., SICHER H. — Bone and bones fondamentales of bone biology. Saint-Louis : C.V. Mosby C°, 1947.
- WERTHEIMER P. — Problèmes chirurgicaux des lumbagos. *Semaine des Hôp. de Paris*, n° 25, 18 avril 1953.
- WHITE J.C. and PETERSON T.H. — Lumbar herniations of intervertebral discs. Value of surgical removal for naval personnel. *Occup. Med.*, 1, p. 145, 1946.
- WIBERG G. — Back Pain in relation to the Nerve supply of the intervertebral disc. *Acta Orth. Scand.*, 19, 211, 1949.
- WILLIAMS J.W. — A case of spondylolisthesis with description of the pelvis. *Trans. Amer. Gynec. Soc. Phila.*, XXIV, p. 49, 1899.

- WILLIAMS P.C. — Lesions of the lumbosacral spine : Pt. 11. *J. Bone Surg.*, 19, p. 690-703, juillet 1937.
- WILLIAMS P.C. — Lesions of the Lumbosacral spine. *J. Bone Jt Surg.*, p. 343-363, avril 1957.
- WILES P. — Movements of the lumbar vertebrae during flexion and extension. *Proceedings of the Royal Society of Medecine (section of Orthopaedics)*, 28, p. 647, 1935.
- WILLIS T.A. — Backward displacement of the fifth lumbar vertebrae. An Optical illusion. *J. Bone Jt Surg.*, 17, p. 347, 1935.
- WILLIS T.A. — Anatomical variations and roentgenographic appearances of the low back in relation to sciatic pain. *J. Bone Jt Surg.*, 23, 410, 1931.
- WILLIS T.A. — The separate Neural arch. *J. Bone Jt Surg.*, 13, 709, 1931.
- WILLIS T.A. — Backache, an anatomical consideration. *J. Bone Jt Surg.*, 14, 267, 1932.
- WILLIS T.A. — The lumbo-sacral vertebral column in man ; its stability of form and function. *Amer. Jour. Anat.*, 32, 95, 1932.
- WILTBERGER B.R. — The dowel intervertebral body fusion as used in lumbar-disc surgery. *J. Bone Jt Surg.*, p. 284-292, 7 fig., Vol. 39-A, N° 2, April 1957.
- WILTBERGER B.R. — The profit dowel intervertebral Body Fusion as used in Lumbar Disc Therapy. *Am. Journ. Surg.*, 86, 723-727, 1953
- WINCKLER G. — Considérations sur la morphogénèse et la morphologie du sacrum. *Archives d'anatomie, d'histologie et d'embryologie*. T. XXX, année 1947, p. 25-51, 11 fig., année 1947.
- WINCKLER G. — Recherches sur le système musculaire du transversospinalis. *Archives d'anatomie, d'histologie et d'embryologie*. T. XXX, p. 153-229, 22 fig., année 1947.
- WILSON N.J. — Review of results of treatment of one hundred cases of spondylolisthesis. *Proc. West. Ortho. Ass. J. Bone Jt Surg.*, 37, 406-407, 1935.
- WOLFF J. — Das Gesetz der Transformation der knochen, Berlin. A. Hirschwald, éd.
- WOOD-JONES F. — Arboreal Man, London, R. Arnold, 1916.
- WORINGER et LANGS. — La myélographie au Kontrast U L'o, moyen de diagnostic de la sciatique discale. *Journ. Radiologie. Electr.*, XXX, p. 450, 1950.
- YAMAGISHI M. and YOSHIMURA Y. — The biomechanics of fracture healing. *J. Bone Jt Surg.*, 37-A, 1.035, 1955.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	9
<i>La première vertèbre sacrée</i>	13
L'ossification normale	13
Les effets des variations transitionnelles	17
<i>Le disque</i>	19
Etude expérimentale	19
<i>Les ligaments</i>	23
Les ligaments antérieurs et postérieurs	23
<i>Le corps vertébral de L5</i>	28
Généralités	28
Variations numériques	29
Physiopathologie des anomalies transitionnelles	34
Déterminisme de la courbure lombaire	35
Etude du couple lombo-sacré	37
Le rôle du socle sacré dans les variations de la courbure lom- baire	46
La charnière lombo-sacrée physiologique	53
<i>Les apophyses de L5 - Etude fonctionnelle</i>	58
Définition des axes	58
Le centre fonctionnel cinétique	61
Les apophyses épineuses et transverses fonctionnelles	64
Les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles de l'apo- physe épineuse de la cinquième vertèbre lombaire	67
<i>Le canal intervertébral de L5</i>	74
ETUDE RADIOLOGIQUE DE L'ARCHITECTURE INTÉRIEURE DE LA CIN- QUÈME VERTÈBRE LOMBAIRE	77
<i>Définition générale de l'architecture intérieure d'une vertèbre</i>	77
<i>Systématisation de la vertèbre lombaire</i>	81
Technique	81
Résultats	83

<i>Caractéristiques radiologiques de la cinquième vertèbre lombaire .</i>	90
Etude de face	90
Etude des clichés de profil de la cinquième vertèbre lombaire	92
Coupes horizontales de la cinquième vertèbre lombaire	93
ASPECTS PATHOLOGIQUES DE LA CINQUIÈME VERTÈBRE LOMBAIRE	97
<i>Les lésions par surcharge</i>	97
a) Cadre des observations	97
b) Rôle de la station érigée	98
c) Définition de l'insuffisance lombaire	99
<i>Etude des forces de compression au niveau de la colonne lombaire</i>	101
<i>Résultante des contraintes au niveau de la cinquième vertèbre lombaire .</i>	103
<i>Définition du coefficient de sécurité</i>	104
<i>Réactions discales aux contraintes</i>	106
<i>Topographie des fractures du rachis</i>	109
LES HERNIES DISCALES	111
<i>Fréquence des lésions</i>	111
<i>Production expérimentale des hernies discales</i>	112
<i>Etude radiologique</i>	114
a) La myélographie	114
b) Résultats	116
LES ANOMALIES MORPHOLOGIQUES DE LA CINQUIÈME LOMBAIRE	119
<i>Le cadre des lombalgies</i>	119
<i>Pathogénie mécanique de l'arthrose lombaire</i>	121
<i>Instabilité lombaire primitive ou pseudo-spondylolisthésis</i>	125
<i>Scoliose congénitale</i>	129
Classification	129
SPONDYLOLYSE ET SPONDYLOLISTHÉSIS	133
<i>Fréquence</i>	133
<i>Pathogénie</i>	134
LE BLOCAGE DE LA CINQUIÈME LOMBAIRE	139
<i>Etude des lombostats</i>	140
Résultats	141

<i>Les arthrodèses lombo-sacrées</i>	143
a) Les arthrodèses antérieures	143
b) Les arthrodèses postérieures	145
<i>ETUDE PHOTOÉLASTICIMÉTRIQUE</i>	149
<i>Introduction</i> ..	149
<i>Principes généraux</i>	152
<i>Les appareils de photoélasticimétrie</i>	156
1. Les lignes isoclines	157
2. Les lignes isochromes	158
3. Les lignes isostatiques	160
<i>Etude d'une maquette de rachis lombaire</i>	161
<i>Les résultats</i>	165
1. Etude directionnelle	165
2. Le relevé des lignes isoclines	165
3. Le tracé des lignes isostatiques	167
4. Détermination quantitative des contraintes	171
<i>Essais complémentaires</i>	176
<i>Conclusions de l'étude photoélasticimétrique</i>	178
<i>CONCLUSIONS</i> ..	181
<i>BIBLIOGRAPHIE</i> ..	183

